

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULHO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA ALFACE
EM AMBIENTE PROTEGIDO**

GABRIEL GRECO DE GUIMARÃES CARDOSO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Julho - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULHO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA ALFACE
EM AMBIENTE PROTEGIDO**

GABRIEL GRECO DE GUIMARÃES CARDOSO

Orientador: Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu para obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU - SP

Julho - 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C268m Cardoso, Gabriel Greco de Guimarães, 1978-
 Manejo da irrigação da alface em ambiente protegido /
 Gabriel Greco de Guimarães Cardoso. - Botucatu : [s.n.],
 2011
 ix, 86 f. : ils. color., gráfs., tabs.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Fa-
 culdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011
 Orientador: Antônio Evaldo Klar
 Inclui bibliografia

 1. Classe textural dos solos. 2. Fracionamento da fer-
 tirrigação. 3. Variabilidade espacial. 4. *Lactuca sativa*
 L. I. Klar, Antônio Evaldo. II. Universidade Estadual Pau-
 lista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Fa-
 culdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

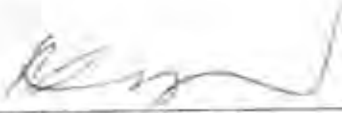
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA ALFACE EM AMBIENTE PROTEGIDO"

ALUNO: GABRIEL GRECO DE GUIMARÃES CARDOSO

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR

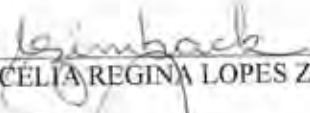
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF.ª DR.ª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK



PROF. DR. CARLOS HENRIQUE DOS SANTOS



PROF.ª DR.ª GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA

Data da Realização: 10 de junho de 2011

DEDICO

Dedico esta tese a meus familiares e amigos, que estiveram comigo durante esta caminhada e contribuíram direta ou indiretamente para sua realização.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por conceber a sabedoria e inteligência em Seus filhos;

À coordenação do programa de pós-graduação em Irrigação e Drenagem, por ter me dado a oportunidade de cursar o doutorado, graduando ainda mais meu entendimento a respeito da irrigação;

Ao professor Dr. Antônio Evaldo Klar, pela orientação, amizade e credibilidade para comigo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo fomento desta pesquisa;

Aos professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Rural, pelas dicas, amizade e confiança depositadas em mim.

Tudo o que somos nasce com nossos pensamentos.

Em nossos pensamentos, fazemos o nosso mundo.

(Buda)

A diferença fundamental entre o homem comum e o guerreiro, é que o guerreiro encara tudo como desafio, enquanto o homem comum encara tudo como bênção ou maldição.

(Carlos Castañeda)

A coisa mais bela que podemos experimentar é o mistério.

Essa é a fonte de toda a arte e ciências verdadeiras.

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
SUMMARY.....	VIII
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	04
2.1 Cultivo da alface em ambiente protegido.....	04
2.2 Manejo da irrigação.....	05
2.3 Geoestatística e variabilidade espacial.....	09
2.4 Fertirrigação.....	10
2.5 Solos.....	13
2.6 Agrometeorologia.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1 Descrição geral do experimento.....	17
3.3 Características dos solos.....	18
3.2 Descrição dos experimentos.....	22
3.4 Dados Agrometeorológicas.....	24
3.5 Sistema de irrigação.....	25
3.6 Manejo de irrigação.....	25
3.7 Fertirrigação.....	26
3.8 Delineamento geoestatístico.....	26
3.9 Análise estatística descritiva.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1 Experimento 1.....	28
4.2 Experimento 2.....	34
4.3 Experimento 3.....	43
4.4 Experimento 4.....	53
4.5 Experimento 5.....	57
4.6 Experimento 6.....	65
4.7 Considerações finais.....	74
5 CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM AMBIENTE PROTEGIDO. Botucatu, 2010. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem). – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: GABRIEL GRECO DE GUIMARÃES CARDOSO

Orientador: PROF. Dr. ANTÔNIO EVALDO KLAR

RESUMO

Nos estudos que envolvem o efeito da água na produção de culturas irrigadas, é provável que o pesquisador se depare com questionamentos que vão além das variáveis envolvidas em um único experimento, como por exemplo: e se o solo fosse diferente, mais ou menos arenoso?; e se a capacidade de campo fosse de potencial distinta da adotada?; e se ao invés de adubar a cultura no início do experimento, fracionasse-se em parcelas sua aplicação? como seria a produção? haveria variações? De forma geral, esta pesquisa objetivou estudar a produção da alface frente a diferentes situações que envolvem sua produção, hora variando o potencial de água no solo, hora o tipo de solo, fracionando a fertirrigação, bem como usando da geoestatística para correlacionar o sistema solo-planta-atmosfera.

Foram instalados seis experimentos, em um deles, constando em manejar a irrigação por meio de parâmetros do potencial de água no solo, foi estabelecido um potencial com capacidade de campo de valor elevado, acima de -10 kPa, no intuito de se verificar quando a curva que correlaciona a produção de massa fresca em função dos potenciais têm seu ponto de máxima. Verificou-se que a alface Americana, no potencial de -5 kPa, é a combinação mais produtiva do experimento e a alface Roxa no potencial de -22 kPa a combinação menos produtiva.

Num outro experimento, adotaram-se 4 níveis de potenciais mínimos de água no solo, sendo eles -5, -10, -30 e -50 kPa, além de três tipos de solos com diferentes porcentagem de areia. Verificou-se que o solo mais argiloso apresentou maior evaporação, evapotranspiração e produção de massa verde em função dos potenciais. Também se pôde observar que o coeficiente de cultivo da alface aproximou-se com o valor sugerido pela Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO) no potencial de -5 kPa para o solo mais arenoso, -30 kPa para o solo de textura média e -50 kPa para o solo mais argiloso.

Ao fracionar a aplicação da adubação necessária à produção da alface, via água de irrigação, observou-se uma considerável variação na produção. No vaso, o fracionamento da fertirrigação em duas parcelas apresentou melhor resultado na produção de massa fresca, não havendo diferença significativa na produção para fracionamentos maiores.

Num outro experimento envolvendo o fracionamento da fertirrigação, porém com plantio sobre o solo, o menor potencial matricial teve maiores produções que os demais potenciais ao se fracionar 1, 2 e 3 vezes a aplicação. Apesar de ter recebido menor lâmina, a alface deste potencial beneficiou-se pela disponibilidade de nutrientes nas proximidades do sistema radicular, já que o fenômeno da lixiviação foi menos intensa que nos demais potenciais, contribuindo pelo melhor desempenho na produção.

No experimento de geoestatística, observou-se que o mapa do armazenamento de água no solo assemelha-se muito com o mapa da evaporação, pois as regiões de maiores incidências de energia, de maior evaporação, recebem maiores variações nos teores de água no solo, distanciando os valores de umidade do solo entre as irrigações.

Palavras-chave: classe textural dos solos; fracionamento da fertirrigação; variabilidade espacial; *Lactuca Sativa* L.

IRRIGATION MANAGEMENT IN PROTECTED ENVIRONMENT. Botucatu, 2010. 100 f. Thesis (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem). – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GABRIEL GRECO DE GUIMARÃES CARDOSO

Adviser: PROF. Dr. ANTÔNIO EVALDO KLAR

SUMMARY

In the studies that involve the effect of the water in the production of irrigated cultures, it is probable that the researcher if comes across with questionings that go beyond the involved 0 variable in an only experiment, as for example: if the ground were different, more or less sandy?; if the capacity of distinct field were of potential of the adopted one?; if instead of at the beginning seasoning the culture of the experiment, fractional in parcels its application? how it would be the production? it would have variations. Questioning in such a way that an experiment gave origin to another one and plus another one and another one...

Of general form, this research objectified to study the production of the lettuce front the different situations that involve its production, hour varying the water potential in the ground, hour the type of ground, fractionation the fertirrigation, as well as using of the geostatistic to correlate the system ground-plant-atmosphere.

In one of the experiments, consisting in modify the irrigation by means of parameters of the water potential in the ground, a potential with capacity of field of raised value was established, above of -10 kPa, in the intention of if to verify when the curve that correlates the production of cool mass in function of the potentials has its point of principle. It was verified that the American lettuce, in the -5 potential kPa, is the combination most productive of the experiment and the Purple lettuce in the -22 potential kPa the combination less productive. In one another experiment, 4 levels of minimum water potentials had been adopted in the ground, being they -5, -10, -30 and -50 kPa, beyond three types of different ground with sand percentage.

It was verified that the ground most argillaceous presented greater evaporation, evapotranspiração and production of green mass in function of the potentials. Also if it could observe that the coefficient of culture of the lettuce came close with the value suggested for

the Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO) in the -5 potential kPa for the ground most sandy, -30 kPa for the ground of average texture and -50 kPa for the ground most argillaceous. When fractionated the application of the necessary fertilization to the production of the lettuce, saw irrigation water, observed a considerable variation in the production. In the vase, the fractionation of the fertirrigation in two parcels presented better resulted in the production of cool mass, not having significant difference in the production for bigger fractionation.

In one another experiment involving the fractionation of the fertirrigation, to put with plantation on the ground, the matric potential minor had greater productions than the excessively potential ones to if fractionating 1, 2 and 3 times the application. Although to have received lesser blade, the lettuce of this potential was benefited for the availability of nutrients in the neighborhoods of the system to radicular, since the phenomenon of the leaching was less intense than in the excessively potential ones, contributing for optimum performance in the production.

In the geostatistics experiment, one observed that the map of the water storage in the ground is resembled very with the map of the evaporation, therefore the regions of bigger incidences of energy, from bigger evaporation, receive greater variations in water texts in the ground, along the values of humidity of the ground between the irrigations.

Keywords: texture of ground; fractionation of the fertirrigation; space variability; *Lactuca Sativa* L.

1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, pertencente à família das Asteraceae. Hortaliza típica de saladas, considerada como uma planta de propriedades tranqüilizantes e que, devido ao fato de ser consumida crua, conserva todas as suas propriedades nutritivas. Segundo Maroto-Borrego (1986) e Camargo (1992), a alface é uma fonte de vitamina A, possuindo ainda as vitaminas B₁, B₂, B₅ e C, além dos minerais Ca, Fe, Mg, P, K e Na, cujos teores variam de acordo com a cultivar.

Para Marouelli e Silva (1996), em geral, as hortaliças, tanto em condições de campo como em ambientes protegidos, têm seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade ambiental. A deficiência de água no solo é, normalmente, o fator mais limitante para a obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial. Assim, a reposição de água ao solo por meio da irrigação na quantidade adequada, e no momento oportuno é decisiva para o sucesso da produção de hortaliças.

O uso da irrigação e a quantidade de água a aplicar, inserem-se em decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera. É necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecidas, da determinação das fases de seu desenvolvimento e do maior

consumo de água. Há os períodos críticos, em que a falta ou excesso de água redundaria em queda da produção (BERNARDO, 2006). Um manejo correto da irrigação para obtenção de uma produtividade viável economicamente seria aquele em que, se aplica água no solo no momento oportuno e em quantidade suficiente para suprir às necessidades hídricas da cultura, sem falta ou desperdício. O manejo otimizado da irrigação requer uma estimativa sistemática do estado energético de água no solo para determinar as quantidades apropriadas e o tempo de irrigação. O conteúdo de água do solo deve ser mantido entre certos limites específicos, onde a água disponível para a planta não seja limitada. O ideal é que o manejo da irrigação seja feito levando-se em consideração fatores do solo, do clima e da planta.

Como o sistema solo-planta-atmosfera é contínuo e dinâmico, o “status” de energia da água da planta encontra-se em constante desequilíbrio com o solo e a atmosfera. Logo, a ocorrência de transporte de água do solo para a atmosfera, passando pela planta, ou seja, a transpiração implica em um gradiente de potencial ao longo de todo o sistema. Adicionando-se a esse processo a água evaporada pelo solo e a transpiração, tem-se a evapotranspiração.

Alguns autores de trabalhos científicos do gênero, como Andrade Júnior (1994), obtiveram resultados satisfatórios monitorando o potencial de água no solo de forma indireta, por meio da umidade gravimétrica e da curva característica da água no solo, com uma cultivar de alface do tipo Americana sob cultivo protegido, na região de Botucatu – SP. Obteve máxima produção de matéria verde por planta, com a aplicação de uma lâmina de água total de 142,3 mm e potencial mínimo de água no solo variando de -20,5 kPa a -38,2 kPa ao longo do ciclo da cultura. Silva e Marouelli (1998) afirmaram que as hortaliças cultivadas em solo, num ambiente protegido e manejadas por gotejamento, de modo geral, apresentam melhor desempenho quando submetidas a potenciais de água no solo mais próximas à capacidade de campo, isto é, entre -10,0 kPa e -30,0 kPa, com o sensor instalado a 0,15 m de profundidade.

As plantas cultivadas em estufa plástica estão sujeitas a uma variabilidade espacial da evapotranspiração mais intensificada que num ambiente aberto em função do confinamento da temperatura do ar dentro da estufa, já que há uma redução na incidência de ventos, reduzindo a troca de calor. Desta forma, observam-se regiões onde a

evaporação tende a manter valores maiores que em outras regiões dentro da estufa. Estes aspectos, entre outros, são inerentes à estrutura da estufa plástica e à orientação da estufa que contribuem para a variabilidade da produção.

Esta pesquisa objetivou determinar a produção da alface frente a algumas variáveis, como mencionadas a seguir:

- a) Potencial de água no solo;
- b) Fracionamento da fertirrigação;
- c) Classe textural do solo;
- d) Variabilidade espacial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultivo da alface em ambiente protegido

Provinda da Europa e da Ásia, a alface pertence à família Asteracea, como a alcachofra, o almeirão e a chicória ou escarola. É conhecida desde 500 anos antes de Cristo. Tradicionalmente, o cultivo da alface é realizado em canteiros em condições de campo e utilizando, principalmente, o método de irrigação por aspersão convencional. Atualmente, com o desenvolvimento da plasticultura nacional, o cultivo de hortaliças em estufas e túneis plásticos (ambientes protegidos) tem se popularizado bastante, bem como o sistema de irrigação localizada, ideal para ambientes protegidos (SONNENBERG, 1985 , LISBÃO et al., 1990).

No caso específico da alface, as principais finalidades do cultivo protegido por essas estruturas são: anular os efeitos negativos das baixas temperaturas, geadas, vento, excesso de chuva e granizo; encurtar o ciclo de produção; aumentar a produtividade e obter produtos de melhor qualidade, desde que a estufa seja bem manejada. Segundo Klar et al (2006), apesar de inúmeras vantagens como proteção da cultura à chuva, insetos, menor velocidade do vento e radiação solar difusa mais elevada, o ambiente protegido apresentou

elevadas temperaturas do ar. Ainda, segundo o autor, a evaporação e a distribuição da energia no interior de túneis plásticos são difíceis de serem estudadas por não haver uma metodologia prática e de baixo custo já estabelecida. Entretanto, o uso de evaporímetros, uniformemente distribuídos no interior do ambiente protegido, ou mesmo a campo, mostrou-se uma metodologia simples e bastante útil no estudo da distribuição de energia, uma vez que a evaporação pode ser convertida em energia.

As plantas cultivadas em estufa plástica estão sujeitas a uma variabilidade espacial da evapotranspiração mais intensificada que num ambiente aberto em função do confinamento da temperatura do ar dentro da estufa, já que há uma redução na incidência de ventos, reduzindo a troca de calor. Desta forma, observam-se regiões onde a evaporação tende a manter valores maiores que em outras regiões dentro da estufa. Estes aspectos, entre outros, são inerentes à estrutura da estufa plástica e à orientação da estufa contribuem para a variabilidade da produção (SOUZA, 2003).

2.2 Manejo da irrigação

O manejo adequado da irrigação é importante não apenas por suprir as necessidades hídricas das plantas, mas também por minimizar problemas com doenças e lixiviação de nutrientes, bem como gastos desnecessários com água e energia. O manejo otimizado da irrigação requer uma estimativa sistemática do estado energético de água no solo para determinar as quantidades apropriadas e o tempo de irrigação. O conteúdo de água do solo deve ser mantido entre certos limites específicos, onde a água disponível para a planta não seja limitada (MORGAN et al., 2001). O ideal é que o manejo da irrigação seja feito levando-se em consideração fatores do solo, do clima e da planta. Mesmo assim, o emprego somente de sensores de solo, para indicar o momento de aplicar água, mostra-se como uma alternativa viável, sendo de baixo custo e de relativa praticidade (FIGUERÊDO, 1998).

Alguns autores, como Andrade Júnior (1994), obtiveram resultados satisfatórios monitorando o potencial de água no solo de forma indireta, por meio da umidade gravimétrica e da curva característica da água no solo, com uma cultivar de alface do tipo Americana sob cultivo protegido, na região de Botucatu – SP. Obteve máxima produção de matéria verde por planta, com a aplicação de uma lâmina de água total de 142,3 mm e

potencial de água no solo variando de -20,5 kPa a -38,2 kPa ao longo do ciclo da cultura. Silva e Marouelli (1998) afirmaram que as hortaliças cultivadas em solo, num ambiente protegido e manejadas por gotejamento, de modo geral, apresentaram melhor desempenho quando submetidas a potenciais de água no solo mais próximas à capacidade de campo, isto é, entre -10,0 kPa e -30,0 kPa, com o sensor instalado a 0,15 m de profundidade.

O solo tem a capacidade de armazenar água em seus poros, como se fosse uma esponja, fornecendo-a às plantas na medida de sua necessidade. Como qualquer reservatório, tem capacidade limitada, que depende das características de suas partículas e da profundidade explorada pelas raízes das plantas. Se água for aplicada em excesso, parte dela será perdida por drenagem profunda, com o conseqüente arraste de nutrientes para além da zona explorada pelo sistema radicular da cultura (KLAR, 1991). Para se determinar a quantidade correta de água a ser aplicada a cada irrigação, visando repor a água do solo, é desejável conhecer a umidade volumétrica do solo no momento da irrigação e a umidade máxima que não prejudique a aeração. Não se deve esperar que as plantas utilizem toda a água do solo para irrigar, já que a produção poderá ser seriamente comprometida. Como o tensiômetro não fornece leitura direta de umidade do solo, esta pode ser determinada indiretamente a partir da curva característica de retenção de água do solo, que relaciona a umidade volumétrica e a tensão matricial de água no solo. A curva, que varia para cada solo, pode ser feita em laboratórios especializados.

A determinação da curva de retenção de água do solo, que representa a relação entre o teor de água e a energia com a qual ela está retida, é essencial no estudo das relações solo-água. Sua determinação, efetuada por meio de técnicas tradicionais de laboratório, tais como a da câmara de pressão (RICHARDS, 1965), baseia-se no levantamento de certo número de pontos, normalmente selecionados de forma arbitrária. Com base nesses pontos, é traçada uma curva para representar as características de retenção da água do solo.

Na metodologia descrita por Richards (1965), a extração de água ocorre por diferença de potencial entre a placa porosa e a amostra de solo e o fluxo de água é exponencialmente reduzido quando o potencial matricial torna-se mais negativo, especialmente quando se aproxima de -1500 kPa, despendendo tempo muito grande para atingir o equilíbrio da umidade na amostra.

Após a determinação do conteúdo de água no solo, em todos os pontos de tensões aplicadas (potenciais mátricos), tem-se a curva de retenção de água no solo para a profundidade em que a amostra de solo foi coletada. Essa curva pode ser ajustada usando-se modelos matemáticos. Vários modelos empíricos (BROOKS e COREY, 1966; VAN GENUCHTEN, 1980; ROSSI e NIMMO, 1994; ASSOULINE et al., 1998; KASTANEK e NIELSEN, 2001; PRUNTY e CASEY, 2002) têm sido propostos e empregados para a descrição da curva de retenção a partir de um determinado número de pontos medidos. Segundo Kastanek e Nielsen (2001), as funções empíricas continuam sendo usadas para ajustar as curvas de retenção de água do solo porque ainda não foram desenvolvidas expressões matemáticas teóricas capazes de representar adequadamente essa relação físico-hídrica.

O solo é o fornecedor de água e nutrientes às plantas devido à sua capacidade de armazenar em seus extratos estes compostos. Por fenômenos de adsorção e capilaridade, ele retém, entre uma irrigação e outra, a umidade que as plantas necessitam. Dependendo do conteúdo de água no solo, as plantas terão maior ou menor facilidade em extrair água e, portanto, de atender às suas necessidades. À medida que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorver água. Isso porque vai aumentando a força de retenção, enquanto diminui a disponibilidade hídrica no solo. Por isso, nem toda água que o solo consegue armazenar está disponível às plantas. Tradicionalmente, a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) são considerados como os limites máximo e mínimo, respectivamente, de água disponível. A partir desses limites, pode-se determinar a capacidade de armazenamento de água disponível no solo, considerando a profundidade do sistema radicular (BERGAMASCHI et al., 1992).

Ao longo de várias décadas, o estado hídrico do solo foi expresso e medido à base de umidade (gravimétrica ou volumétrica). Entretanto, como as características de retenção de água no solo variam muito, principalmente em função da textura, do conteúdo de matéria orgânica e do estado de agregação, houve a necessidade de expressar a umidade em termos de energia. Até pouco tempo, foi muito utilizado o conceito de tensão ou sucção de água no solo. Atualmente, utiliza-se cada vez mais a idéia de potencial de água no solo, que tem um significado físico mais consistente e que está relacionado ao estado energético da água na planta e na atmosfera. O potencial de água no solo exprime o estado energético da água no

solo e resulta de dois componentes principais: o potencial matricial, resultante da adsorção e da capilaridade na matriz do solo, e o potencial gravitacional, resultante da ação do campo gravitacional da Terra (GONÇALVES, 1994). Em solos com alta concentração salina, ou em locais de acúmulo de adubos minerais, o potencial osmótico também pode ser importante e somar-se aos anteriores, resultando em potencial total mais negativo.

Veihmeyer e Hendrickson (1950), de acordo com Reichardt (1987), definiram a capacidade de campo como “a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem de seu excesso, quando a velocidade do movimento descendente praticamente cessa, o que usualmente ocorre dois a três dias após a chuva ou irrigação, em solos permeáveis e de estrutura e textura uniformes”.

Segundo Reichardt (1985), este conceito chegou mesmo a afirmar que “o conceito de capacidade de campo causou mais males do que esclarecimentos”. Como pode-se determinar que a redistribuição praticamente cessou ou tornou-se desprezível? Obviamente os critérios para tal determinação são subjetivos, dependendo da frequência e precisão com que a umidade do solo é medida. Apesar de tudo, o conceito de capacidade de campo é considerado em muitas aplicações como um critério prático e útil para o limite superior de água que um solo pode reter. Nestas condições, a capacidade de campo deve necessariamente ser determinada no campo considerando-se suas limitações. Outrossim, não existe um método de laboratório para sua determinação, pelas razões discutidas acima. Os valores dos vários métodos de laboratório que mesmo assim foram propostos, tais como os valores obtidos com placa de pressão a 1/10 ou 1/3 atm, nunca poderão representar a capacidade de campo medida no terreno. Estes critérios são estáticos e o processo de redistribuição é essencialmente dinâmico.

Reichardt (1988) analisou o conceito de capacidade de campo do ponto de vista teórico, avaliando-o em relação a dados de drenagem interna de um solo considerado homogêneo (latossolo) e outro heterogêneo (terra roxa estruturada), dando ênfase ao fato de ser a capacidade de campo o resultado de um comportamento dinâmico da água no solo e não uma característica intrínseca de sua matriz. Sabendo que o fluxo de drenagem decresce rapidamente com o tempo, tornou-se subjetiva a escolha do instante para a determinação da capacidade de campo. Cada tempo escolhido levou a um valor diferente dessa capacidade, cujos métodos de determinação em amostras de laboratório não tiveram nenhum

suporte teórico; seus resultados, porém, podem ser úteis para efeito prático. Nesses casos, o critério clássico do potencial matricial de -33 kPa (-1/3 atm) deve ser levado para potenciais maiores, da ordem de -10 a -6 kPa (-1/10 a -6/100 atm).

Veihmeyer e Hendrickson (1950), conforme mencionado por Reichardt (1985), afirmaram que a água do solo é igualmente disponível em intervalo de umidade que vai de um limite superior, a capacidade de campo, até um limite inferior, o ponto permanente de murcha. Este foi definido como a umidade do solo na qual uma planta não túrgida não restabelece turgidez, mesmo quando colocada em atmosfera saturada por 12 h. Comumente, assume-se que esta umidade do solo corresponde a um potencial de -1500 kPa. Estes autores postularam que as funções biológicas das plantas permanecem não afetadas neste intervalo, variando abruptamente uma vez ultrapassado o limite inferior.

Segundo Reichardt (1985), outros investigadores encontraram evidências de que a disponibilidade de água às plantas decresce com a diminuição da umidade do solo e que a planta pode sofrer deficiência de água e redução de crescimento, antes de alcançar o ponto de murcha. Outros pesquisadores, não concordando com estes pontos de vista opostos, procuraram dividir o intervalo de água disponível em dois intervalos, um de “água imediatamente disponível” e outro de “água decrescentemente disponível”, e procuraram um “ponto crítico” entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, como um critério adicional para a definição de água disponível.

2.3 Geoestatística e variabilidade espacial

O termo “geoestatística” acha-se consagrado como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, aquelas que tem um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente casuais e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998).

Landim (1998) afirmou que num estudo geoestatístico, a parte mais importante refere-se à determinação do variograma. Segundo o mesmo autor, os variogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a anisotropia (quando os variogramas mostra-se diferentes para diferentes direções do terreno) e também a continuidade

da característica estudada no terreno, expressa pela forma do variograma. Através da análise do variograma, se for verificada a dependência espacial, poderá estimar-se valores utilizando o procedimento de interpolação conhecido como krigagem, em qualquer posição do campo em estudo, expressando-se os resultados em forma de mapas de isolinhas e mapas de superfícies.

A geoestatística ou teoria das variáveis regionalizadas possibilita o estudo do comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura desta variabilidade, além de poder também quantificar o seu tamanho (LANDIM, 1998). O fato de a teoria das variáveis regionalizadas ser tratada como um termo próprio "geoestatística" acabou por gerar algumas confusões e muitos autores se referem a "estatística clássica" e a geoestatística como se fosse possível fazer tal distinção e cuja divisão carece de fundamentação (RIBEIRO JÚNIOR, 1995). A amostragem pode ser feita segundo transeções numa dada direção x ou através de malhas (grids) em duas ou três dimensões (REICHARDT et al. 1985). Em qualquer caso é imprescindível o conhecimento da localização geográfica dos pontos amostrados.

Discussões à respeito de amostragem são encontradas em Entz e Chang (1991) e Petersen e Calvin (1986). A análise da dependência espacial pode ser feita através de correlogramas e semivariogramas, entretanto o semivariograma é de uso mais geral (TRANGMAR et al. 1985). O semivariograma permite, através do alcance, obter a distância de separação entre amostras, nos quais os valores observados são relacionados uns aos outros, mostrando a potencialidade de tal função, em futuros esquemas de amostragem.

2.4 Fertirrigação

Uma das alternativas para o melhor aproveitamento do sistema de irrigação é a técnica da fertirrigação. Segundo Vivancos (1993), entende-se por fertirrigação a aplicação dos elementos nutritivos necessários aos cultivos juntamente com a água de irrigação.

Costa et al. (1986) citaram que a fertirrigação apresenta como vantagens, a economia de mão-de-obra e maquinaria, aplicação no momento exato em que a planta necessita, possibilidade de aplicação em qualquer fase do ciclo da cultura, fácil

fracionamento e controle da quantidade de fertilizante aplicada, distribuição mais uniforme, maior eficiência de utilização dos nutrientes e menor dano físico ao solo e à cultura. A fertirrigação permite manter a disponibilidade de água e nutrientes próxima dos valores considerados ótimos ao crescimento e à produtividade da cultura, justamente por permitir controlar as dosagens de forma precisa através dos injetores de fertilizantes. Sendo assim, a quantidade de nutrientes, parcelada ou não, deve ajustar-se às necessidades da cultura ao longo das fases de desenvolvimento.

Frizzone et al. (1985) observaram que a aplicação convencional de fertilizantes é relativamente demorada e, em alguns casos, provoca a compactação do solo. A fertirrigação é bastante rápida e a solução de fertilizante dilui-se de forma homogênea na água de irrigação, distribuindo-se na área juntamente com a água.

Burt et al (1995) afirmaram que a fertirrigação é o mais econômico e eficiente método de aplicação de fertilizantes, especialmente quando aplicado através de sistema de irrigação localizado, desde que esta aplicação assegure os fertilizantes diretamente na região das raízes das plantas, e com o fracionamento das doses, possibilita aumentar a eficiência da adubação. Esses mesmos autores, afirmaram que, comparando a fertirrigação por gotejamento e a aplicação de fertilizantes com o método convencional, há um aumento na eficiência de aplicação de fertilizante no primeiro método e gasta 20 a 50% menos fertilizantes do que o método convencional. Threadgill (1985) relatou que a aplicação de fertilizantes associada com outros insumos agrícolas (herbicidas, inseticidas, entre outros), chega a reduzir os custos em comparação com o sistema convencional em torno de 33%.

Segundo Malavolta (1981), para a fertirrigação nitrogenada, foram utilizadas várias fontes comerciais de nitrogênio, obtidas a partir nitrogênio do ar, como uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, etc. A uréia representa uma das fontes mais econômicas de nitrogênio, sendo completamente assimilável pelas plantas, nas formas amoniacal e nítrica. As perdas de nitrogênio para a atmosfera se dão na forma de amônia e ocorrem com alta frequência quando o adubo é aplicado na superfície do solo sem incorporação. Umidade, temperatura, pH, complexo de troca e teor de matéria orgânica, dentre outros fatores, influenciam a perda de nitrogênio para a atmosfera, (MALAVOLTA, 1981).

Rodrigues & Kiehl (1986), avaliando formas de aplicação de uréia em laboratório e em casa de vegetação, com aplicação na superfície do solo, concluíram que a aplicação na superfície resultou na volatilização de quase todo o nitrogênio. Melhor controle foi verificado quando se incorporou o fertilizante a uma profundidade maior. Malavolta (1980) descreveu a conveniência do parcelamento do nitrogênio em função da baixa exigência inicial da cultura. As culturas anuais devem receber, no plantio, apenas uma fração da dose de nitrogênio de que necessitam, aplicando-se o restante sobre o solo, ao lado da planta, no período de sua maior exigência. A uréia, quando utilizada como fonte de nitrogênio, deve ser incorporada visando evitar perdas por volatilização, as quais podem atingir 25 a 60% do total aplicado.

Meirelles et al. (1980), trabalhando com adubação nitrogenada em feijoeiro em Terra Roxa Estruturada e usando o sulfato de amônio como fonte de nitrogênio, com a aplicação de 100 kg.ha^{-1} , obtiveram um aproveitamento de 30 kg.ha^{-1} de nitrogênio e concluíram que a adubação nitrogenada deve ser parcelada, aplicando-se $1/3$ da dose no plantio e $2/3$ aos 30 ou 45 dias após a germinação. Os fertilizantes mais frequentemente aplicados via água de irrigação são o nitrogênio e o potássio. O fósforo, em razão da baixa mobilidade no solo, do baixo risco de lixiviação, de maior custo das fontes solúveis próprias para fertirrigação e maior risco potencial de precipitação e entupimento dos gotejadores, tem sido geralmente recomendado em pré-plantio. Todos fertilizantes fosfatados são originários de rochas fosfatadas. Existem as apatitas (metamórficas, cristalinas, "duras" e de menor solubilidade) e as fosforitas (sedimentares, amorfas, "moles" e de maior solubilidade). No Brasil temos predominantemente apatitas, com cerca de 10 a 15% de P_2O_5 total. Elas são extraídas de minas, moídas e então tratadas com ácidos para remover impurezas químicas e físicas, gerando o concentrado fosfático, com 35% de P_2O_5 total, que será à base de produção dos fertilizantes fosfatados. O concentrado fosfórico possui o fósforo na forma tricálcica, insolúvel em água e em ácidos orgânicos, sendo indisponível para as plantas.

As formas nítrica, amoniacal e amídica apresentam diferenças em custos, de potencial de lixiviação, de acidificação do solo e de volatilização, além da absorção pelas plantas (RAUSCHKOLB e HORNSBY, 1994; SCAIFE e BAR-YOSEF, 1995). A forma nítrica é a mais susceptível à lixiviação, seguida da amídica e da amoniacal. Ao contrário do

nitrito e do amônio, a uréia não é absorvida diretamente pelas plantas, mas somente após ser hidrolizada a amônio. Contudo, a uréia é uma das fontes mais utilizadas pelos agricultores por apresentar o menor custo por unidade de N.

2.5 O solo

A definição de solo só é completa quando se leva em conta o enfoque almejado, atribuindo ao mesmo a atividade a ser desenvolvida sobre ou sob ele. Para a engenharia civil, solo é um material escavável, que perde sua resistência quando em contato com a água; para a agronomia, é uma camada superficial de terra arável, possuidora de vida microbiana no qual fixarão as culturas a serem cultivadas; aos profissionais da irrigação, solo é um reservatório de água com nutrientes; para a arqueologia, é um material no qual se encontram registros de civilizações e organismos fósseis; para a geologia, é um produto do intemperismo físico e químico das rochas; na pedologia, é uma camada viva que recobre a superfície da terra, em evolução permanente, por meio da alteração das rochas e de processos pedogenéticos comandados por agentes físicos, biológicos e químicos. Esta é a ciência que estuda a formação do solo e foi iniciada na Rússia por Dokuchaiev no ano de 1880. O solo pode ainda ser definido como coleção de corpos naturais constituídos por parte sólida, líquida e gasosa, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais, contém matéria viva e podem ser vegetados (EMBRAPA, 2006).

A textura do solo refere-se à proporção relativa em que se encontram, em determinada massa de solo, os diferentes tamanhos de partículas. Para a ciência do solo no Brasil as frações granulométricas seguem a classificação de Atterberg (OLIVEIRA et al., 1992). Refere-se, especificamente, às proporções relativas das partículas ou frações de areia, silte e argila na terra fina seca ao ar (TFSA). É a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo. É muito importante na irrigação porque tem influência direta na taxa de infiltração de água, na aeração, na capacidade de retenção de água, na nutrição, como também na aderência ou força de coesão nas partículas do solo. Solos de textura arenosa são leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica. São

limitantes ao método de irrigação por sulcos, devido à baixa capacidade de retenção de água o que ocasiona uma alta taxa de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, elevada perdas por percolação.

A densidade global do solo é definida como a razão entre a massa de solo seca em estufa, a 105-110°C, e o volume de sólidos mais o volume de poros (ocupados com ar ou água) (JORGE, 1985; PREVEDELLO, 1996; KLAR, 1991; CULLEY, 1993). É um parâmetro extremamente útil para o cálculo da porosidade do solo, quando a densidade de partícula é conhecido, para conversões de peso para volume, e para converter umidade gravimétrica em volumétrica. É inversamente proporcional a porosidade, quanto maior o valor de densidade do solo seco, menor é a porosidade total do solo. Geralmente os solos minerais apresentam uma densidade do solo variando de 1,1 a 1,6g/cm³, enquanto solos orgânicos, estes valores caem para 0,6 a 0,8g/cm³ (JORGE, 1985).

A determinação da densidade de partículas consiste na medição do volume de líquido deslocado por uma massa conhecida de partículas de solo seco (Princípio de Arquimedes). Os líquidos geralmente utilizados são a água e o álcool etílico, preferencialmente este último devido a sua baixa viscosidade e tensão superficial, o que facilita a sua penetração nos espaços vazios (PREVEDELLO, 1996; KLAR, 1991).

A porosidade do solo apresenta intima correlação com a infiltração, a permeabilidade e a condutividade hidráulica dos solos, propriedades estas que definem o comportamento do solo relativo a drenagem do perfil e a sua capacidade de armazenamento de água, também conhecida como capacidade de campo. A porosidade total (P) representa o total de poros do solo em relação o volume deste solo. Este parâmetro pode ser calculado pela relação entre a densidade do solo pela densidade de partículas (KLAR, 1991).

A porosidade livre de água, ou porosidade de aeração, representa a fração do volume total do solo ocupado com ar. Este parâmetro deve ser acompanhado do valor do potencial matricial da água usado no momento de sua determinação (CARTER e BALL, 1993). A porosidade livre de água pode ser calculada através subtração da porosidade total pela umidade volumétrica.

2.6 Agrometeorologia

Vários são os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) e a literatura sobre o assunto é bastante vasta, entre eles Camargo (1966), Doorenbos e Pruitt (1977); Ometto (1981); Rosenberg et al. (1983); Villa Nova e Reichardt (1989) e Pereira *et al.* (1997). Os métodos de estimativa da ET_o dividem-se em empíricos, de balanço de energia e combinados. Métodos empíricos são resultados de correlações entre a evapotranspiração de referência, medida em condições padrões, com os elementos meteorológicos medidos em postos meteorológicos, sendo que alguns deles têm aplicação quase que universal.

O tanque Classe A é um deles e baseia-se na proporcionalidade existente entre a evaporação do tanque Classe A (ECA) e a evapotranspiração de referência (ET_o). Essa proporcionalidade leva em consideração um coeficiente de ajuste (K_p), denominado coeficiente do tanque Classe A, resultando numa expressão multiplicativa entre os termos. O K_p é dependente das condições de umidade relativa (UR, em %), velocidade do vento (U, em km/d) e do raio da bordadura (L, em m), nas quais o tanque está instalado, sendo apresentado na forma de tabela, (DOORENBOS e PRUITT, 1977), ou na forma de equação, (SNYDER, 1992).

Quando não há bordadura gramada, como nos casos de tanques instalados dentro de ambiente protegido, usam-se tabelas ou equações próprias para essa condição, porém é comum o acréscimo de 20% sobre o valor do K_p com grama, acréscimo este referente ao albedo da grama. Esse método de estimativa de ET_o através do tanque é bastante utilizado no manejo da irrigação, sendo recomendado pela FAO (DOORENBOS e PRUITT, 1977), pois é de fácil determinação e de relativo baixo custo.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) é definida como aquela que ocorre de uma superfície vegetada com a cultura em qualquer fase de seu desenvolvimento e sem restrição hídrica. O conhecimento da ET_c é fundamental em projetos de irrigação, pois ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais (JENSEN, 1968). Para a determinação da ET_c, as medidas podem ser feitas através de lisímetros, também conhecidos por evapotranspirômetros, que são tanques enterrados no solo, por meio dos quais mede-se a evapotranspiração potencial ou a

evapotranspiração de cultura. Este instrumento de medida é viável em centros de pesquisa e ensino, já que a instalação e monitoramento requerem cuidados especiais, seguindo procedimentos bem definidos, sendo pouco difundido em propriedades agrícolas. Portanto, quando se deseja conhecer a ET_c , faz-se uma estimativa por meio da ET_o .

A ET_c pode ser estimada, utilizando-se a ET_o , corrigida por um coeficiente de cultura (K_c), o qual é obtido pela relação entre ET_c e ET_o , determinados experimentalmente (JENSEN, 1968). O K_c é tido como uma variável que é função da cultura, do seu estágio de desenvolvimento e da região onde é determinada.

De acordo com Albuquerque et al. (1997), os coeficientes adotados para a estimativa da ET_c , propostos pela FAO, não levam a resultados satisfatórios em razão das diferentes condições climáticas, da cultura e do método de estimativa de ET_o e além disso, pelo fato da metodologia proposta pela FAO assumir valores constantes de K_c para diferentes fase fisiológicas. Assim, cabe aos centros de pesquisa propor coeficientes de cultivo para regiões específicas, atendendo ao planejamento e operação dos projetos de irrigação, contribuindo desta forma pelo subsídio ao bom uso da água, fornecendo meios para o conhecimento das interrelações das diversas fases do sistema solo-planta-atmosfera.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral dos experimentos

Os experimentos foram desenvolvidos em uma das casas de vegetação situada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus Botucatu - SP, no período compreendido entre 01 de agosto de 2008 a 19 de agosto de 2009. A altitude média é 786 m, a latitude é 22°51'03" Sul e a longitude 48°25'37" Oeste.

De acordo com a classificação de Köppen, a região apresenta clima Cfa, ou seja, clima temperado chuvoso, caracterizado pela existência de quatro ou seis meses consecutivos com temperatura média do ar superior a 10 °C. A temperatura média do ar no mês mais quente é de 22,8 °C e do mês mais frio de 16,7 °C. A média da temperatura do ar anual é de 20,6 °C e as médias das temperaturas do ar máxima e mínima são de 23,5 e 17, 4 °C, respectivamente. O total de precipitação pluvial média é de 1518,8 mm, apresentando um total médio para o mês mais chuvoso de 229,5 mm e 37,5 mm para o mês menos chuvoso. A evapotranspiração média anual é de 692 mm.

Os experimentos foram conduzidos em uma estufa tipo túnel alto, com dimensões de 27,5 m de comprimento, 7,0 m de largura e altura das laterais de 1,7 m. A estrutura tem a forma de arcos de tubos galvanizados. A cobertura foi confeccionada com

filme de polietileno aditivado transparente, com 150 μ m de espessura. As laterais são de tela “sombrite” com 30% de sombreamento, objetivando a interceptação de insetos e animais. A estufa está posicionada no sentido Norte/Sul, ficando perpendicular à trajetória do sol. Nos rodapés, em toda a extensão da estufa, foram instalados filmes plásticos dobrados com 0,2 m de profundidade e 0,5 m de altura, com a finalidade de evitar a entrada de água da chuva.

No interior da estufa, foi construído tabuleiro de madeira, com altura de 1 metro em relação ao solo e largura de 70 cm, que tem a utilidade de acomodar os vasos sobre eles, evitando o contato dos mesmos com o solo. A massa do solo colocada nos vasos, bem como das alfaces no momento da colheita, foram medidas por uma balança digital de precisão igual a 5 g. Utilizou vasos plásticos brancos para o plantio da alface, de volume igual a 1 L, aos quais foram cheios com 0,8 Kg de solo seco em estufa.

3.2 Característica dos solos usados no experimento

Foram usados 4 classes texturais de solos nos experimentos, sendo denominados de 1, 2, 3 e 4. Os três primeiros solos foram utilizados em vasos, enquanto que o solo 4 é o solo da estufa, usado nos experimentos sobre o solo.

Os solos 1, 2 e 3 foram coletados da terra a cerca de 40 dias antes do início do experimento. Eles passaram por uma peneira de malha igual a 4 mm, foram espalhados sobre uma lona no interior de uma estufa para secagem e calagem, determinando sua umidade no momento em que foram colocados no vaso. Assim, as massas de água desses solos colocado nos vasos foram conhecidas no momento da pesagem.

Os valores das umidades de água no solo em função dos potenciais matriciais, características físicas e químicas, foram feitos por amostras deformadas, determinadas segundo metodologia de Leite Júnior (2000) e Antunes (2001) no Laboratório de Solos do Departamento de Solos, da FCA/UNESP e encontram-se dispostos na Tabela 1, 2 e 3. As densidades dos solos foram determinadas pelo método do anel volumétrico. As amostras foram retiradas da superfície dos vasos após a colheita, através de um anel volumétrico de 68,39 cm³.

Tabela 1. Análise química dos quatro tipos de solos

Tipo de solo	pH CaCl ₂	M. O. g.dm ⁻³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	P
-----mmol _c /dm ³ -----										
1	4,0	14	73	0,4	5	2	7	80	9	7
2	4,6	20	42	1,7	12	8	21	63	34	9
3	5,9	28	25	2,2	53	28	83	108	77	17
4	5,4	21	24	1,3	20	12	33	57	57	5

Tipo de solo	BORO	COBRE	FERRO	MANGANÊS	ZINCO
mg.dm ⁻³					
1	0,12	1,1	27	0,7	0,6
2	0,23	6,8	23	16	0,5
3	0,38	12,2	18	50,1	2,7
4	0,27	5,5	10	5,7	0,4

Tabela 2. Análise granulométrica e da densidade média dos quatro tipos de solos

Tipo de solo	Areia	Argila	Silte	Densidade global	Densidade real	Porosidade total
	g.kg ⁻¹			g.cm ⁻³	g.cm ⁻³	(%)
1	640	200	160	1,205	2,68	55,04
2	447	407	146	1,200	2,80	57,11
3	140	524	336	1,100	2,67	58,81
4	370	510	120	1,210	2,68	57,18

Tabela 3. Valores das umidades dos solos (g.g⁻¹) e potenciais matriciais (kPa) para os quatro tipos de solos

Potencial Ψ - (kPa)	Solos			
	1	2	3	4
U (g g ⁻¹)				
saturado	0,3019	0,3327	0,4677	0,4122
10	0,1535	0,2109	0,3274	0,2910
30	0,1268	0,1788	0,3065	0,2239
50	0,1200	0,1680	0,2970	0,2116
300	0,1020	0,1500	0,2554	0,2033
500	0,0975	0,1473	0,2411	0,1859
1500	0,0963	0,1472	0,2322	0,1686

As umidades do solo para os potenciais da Tabela 3, foram determinadas através dos pontos da curva de retenção de água no solo, ajustados pelo programa Soil Water Retention Curve (DOURADO NETO et al., 1990), utilizando-se o modelo proposto por Van Genuchten (1980). Os parâmetros da equação estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros da equação de Van Genuchten

Solos	α	m	n	θ_r	θ_s
1	0,0521	0,3890	1,6368	0,096	0,269
2	0,0343	0,4303	1,7553	0,147	0,320
3	0,0439	0,3095	1,4483	0,232	0,441
4	0.0150	0,6000	2,5000	0,169	0,412

Usando o modelo proposto por Van Genuchten (1980), os pontos da Tabela 3 foram ajustados resultando em novas umidade, que foram adotados nesta pesquisa, conforme Figura 1.

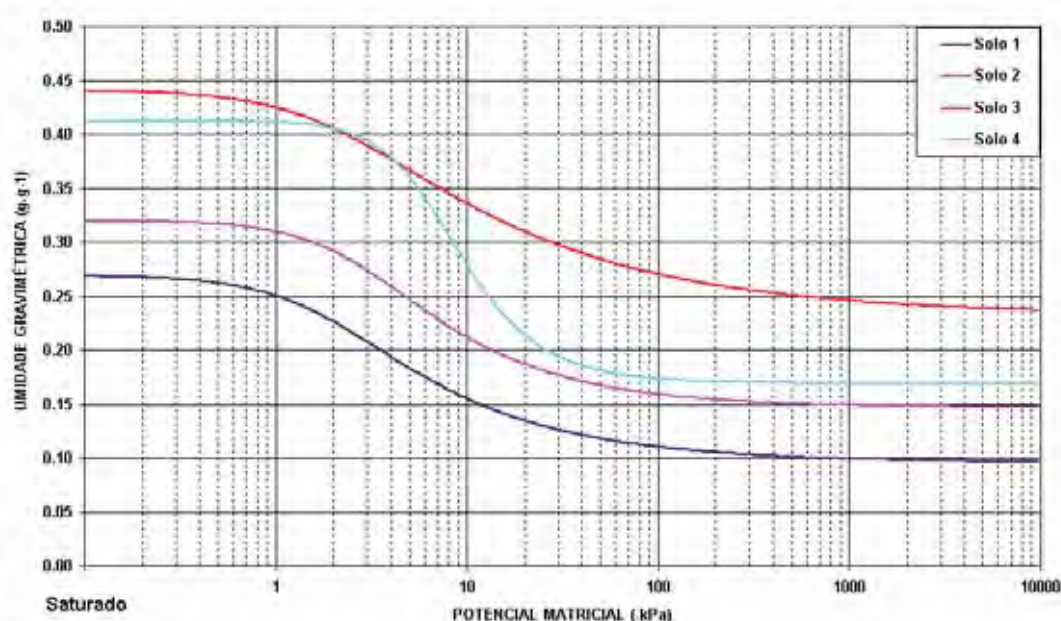


Figura 1. Curva de retenção de água no solo para os quatro tipos de solos, pelo modelo de Van Genuchten.

Os potenciais matriciais escolhidos nos experimentos em vaso, bem como os teores de umidade ajustados, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores das umidades nos solos (g.g^{-1}) e potenciais matriciais (kPa) para três tipos de solos

Potencial	1	2	3
- (kPa)	U (g g^{-1})		
05	0,1796	0,2498	0,3713
10	0,1550	0,2120	0,3359
30	0,1257	0,1765	0,2969
50	0,1176	0,1671	0,2840

O armazenamento de água no solo (A) deu-se pela subtração dos teores de umidade do solo depois (U_d) e antes da irrigação (U_a). Os valores encontrados foram multiplicados pela profundidade de amostragem do solo (Z) e pelo valor da densidade do solo do perfil (d). A Eq. (1) descreve o calculo do armazenamento de água no solo entre as irrigações:

$$A = (U_d - U_a).d.Z.0,1 \quad (1)$$

O solo foi preparado inicialmente com a calagem e no plantio, adubado via água de irrigação, conforme recomendações do boletim 100 do IAC (Raij et al., 1997), para a cultura da alface, com as seguintes quantidades de nutrientes por vaso, conforme Tabela 6.

Tabela 6. Recomendação de adubação por vaso e por emissor, para os três tipos de solos (g/vaso e g/emissor)

Tipo de solo	P_2O_5	KCl	N	Calagem
1	14,6	1,4	1,6	22,72
2	14,4	0,5	1,6	11,59
3	13,5	0,2	1,6	1,3
4	14,0	0,5	1,6	3,7

3.3 Descrição dos experimentos

Foram experimentadas seis abordagens envolvendo a produção da alface sob diferentes variáveis e em épocas distintas. Os experimentos foram conduzidos segundo delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

No experimento 1, estudou-se a produção de 4 cultivares de alface (americana, roxa, crespa e mimosa) em função de 4 potenciais de água no solo (0, -5 -13 e -22 kPa), sendo o potencial mínimo igual a -5 kPa. O experimento foi conduzido em vasos, com o solo de numero 1. O potencial de 0 kPa deu-se com o solo umedecido por capilaridade, através da água colocada nos pratos que ficavam sob os vasos.

No experimento 2, conduzido sobre o solo da estufa (solo 4), estudou-se a variabilidade espacial da produção da alface crespa e roxa em função da evaporação e teor de umidade do solo pontual. O plantio deu-se sobre o solo sem canteiros ao longo do sistema de irrigação, nos mesmos espaçamentos do sistema, contando com 4 linhas laterais. Utilizou-se quatro linhas laterais de gotejadores para a irrigação das alfaces. Os emissores foram espaçados em 0,6 m entre si e o espaçamento entre linhas foi de 1,62 m. Cada linha lateral contou com 15 gotejadores, totalizando 60 pontos de descarga. Foi plantado grupo de quatro pés de alfaces, equidistantes 15 cm entre si, sendo dois da cultivar Roxa e dois da Crespa, ao redor de cada gotejador, tendo 60 pés de alface por lateral e 240 no total.

O manejo da irrigação deu-se por tensiometria, considerando como capacidade de campo o potencial de -10 kPa e o potencial mínimo de -30 kPa. Utilizou-se tensiômetros de coluna de mercúrio, um para cada linha lateral.

A produção de cada alface em cada ponto foi correlacionada com a evaporação local e umidade, pois essas duas variáveis destacadas foram avaliadas nos mesmos 60 pontos onde se deu a produção da alface, possibilitando verificar da influência que tiveram sobre a produção.

Para o estudo da variabilidade e dependência espacial dos atributos da área estudada, sendo elas, a produção de massa fresca, evaporação e umidade do solo, procederam-se a associação de 60 pontos às suas respectivas posições estabelecidas dentro da estufa.

Para a localização dos pontos amostrados, foram estabelecidos as coordenadas x e y dentro da estufa ao longo das linhas laterais, sendo x a coordenada que varia conforme o espaçamento entre gotejadores e y a coordenada que varia conforme o espaçamento entre linhas.

Após completar 40 dias do transplântio, todas as plantas foram colhidas e pesadas numa balança digital, de menor divisão igual a 5g. Colheu-se a parte aérea, seccionando com um estilete a parte aérea do talo. A média das massas frescas das quatro alfaces de cada ponto foi dividida por quatro, obtendo a massa verde pontual. Os sessenta pontos amostrados foram analisados espacialmente, servindo para a confecção de mapas tridimensionais e visualização dos resultados.

No experimento 3, conduzido em vasos, estudou-se a produção da alface crespa frente a 4 níveis de fracionamento da fertirrigação e 3 potenciais de água no solo (-20, -30 e -100 kPa), tomando o potencial de -5 kPa como sendo o potencial mínimo. O solo usado neste experimento se deu com o de número 1.

O experimento 4, conduzido sobre o solo da estufa (solo 4), objetivou avaliar as mesmas variáveis do experimento 3, no intuito de verificar a influência que o condicionamento do solo em vasos têm sobre a produção. O plantio deu-se sobre o solo sem canteiros, ao longo do sistema de irrigação, nos mesmos espaçamentos do sistema. Foi plantado grupo de quatro pés de alfaces, equidistantes 15 cm entre si nas proximidades de cada gotejador, tendo 64 pés de alface por lateral e 576 no total. Após completar 39 dias do plantio, todos os tratamentos foram irrigados até a capacidade de campo, para que no dia posterior, as plantas fossem colhidas. Foram instalados tensiômetros, numa profundidade de 15 cm, para indicar o momento de irrigar. Foi considerado como capacidade de campo o potencial de -10 kPa e os potenciais mínimos de cada um dos três tratamento de potencial de água no solo iguais a -20, -30 e -40 kPa.

Utilizaram-se nove linhas laterais para a irrigação, sendo que grupo de três laterais formava um bloco, contando com as três repetições e uma lâmina. Cada linha lateral contava com os quatro tratamentos de fertirrigação.

No experimento 5, estudou-se a produção da alface crespa em vasos, contando com três tipos de solo (1, 2 e 3) e 4 potenciais de água no solo (-5, -10, -30 e -50 kPa). O manejo deu-se por turno de rega de 2 dias, retornando os potenciais aos valores

estabelecidos. Foi feito inicialmente um estudo da evaporação dos solos sem cultura e da porosidade livre de água nos potenciais de água no solo adotado.

No experimento 6, estudou-se o efeito da variação do coeficiente de cultivo da alface crespa em função do tipo de solo e umidade dos mesmos. Utilizou-se os solos 1, 2 e 3 condicionados em vasos, considerando 4 potenciais mínimos de água no solo (-5, -10, -130 e -50 kPa), com turno de rega de 2 dias.

3.4 Dados agrometeorológicos

No interior da estufa, foi instalado um Tanque Classe A para monitorar a evapotranspiração de referência, cujas medições foram registradas sempre as 9:00 horas. As temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas internas foram registradas diariamente por um termômetro digital de máxima e mínima e por um termo-higrômetro digital de máxima e mínima.

Para a determinação da evapotranspiração de referência, utilizou-se uma equação que determina o K_p para solos sem cobertura vegetal, levando em consideração a umidade relativa e a velocidade do vento dentro da estufa (BERNARDO et al., 2006). Para a determinação da evapotranspiração da cultura, utilizou-se o princípio da lisimetria de pesagem, considerando a evapotranspiração da cultura como sendo a diferença de peso do vaso antes e após as irrigações, tomando a média dos tratamentos de potenciais matriciais.

Para o monitoramento da evaporação pontual, foram instalados 60 evaporímetros a 0,3 m de altura em relação ao solo. Eles ficaram localizados nos mesmos pontos de descarga dos emissores, equidistantes 0,6 m no eixo x e 1,61 m no eixo y. O evaporímetro constou de um vasilhame plástico, transparente, cilíndrico de volume igual a 500 ml, abastecidos com volumes conhecidos de água e de posse dos valores dos volumes colocados e do diâmetro dos evaporímetros, calculou-se a evaporação.

Para a determinação do coeficiente de cultivo, procedeu-se com a relação entre a evapotranspiração de referência, medida pelo tanque classe A, com a evapotranspiração da alface, considerando cada tratamento de potencial de água no solo e tipo de solo.

3.5 Sistema de irrigação

Para os experimentos em vaso, as irrigações foram efetuadas manualmente, com base nas pesagens dos vasos dos tratamentos correspondentes.

No experimento em solo natural (solo 4), o sistema de irrigação foi composto por mangueiras gotejadoras Manari, fabricada pela Petroisa Irrigações Ltda. Essa mangueira possui espaçamentos entre gotejadores de 0,6 m. A vazão média dos gotejadores é de 1,33 Lh⁻¹, quando na pressão de 70 kPa. Para manter a pressão de serviço, utilizou-se um regulador de pressão de 70 kPa na saída da linha principal para as laterais.

Foi realizado ensaio de uniformidade, segundo metodologia descrita em ABNT (1986), a fim de comprovar que todas as plantas recebiam uma lâmina uniforme.

3.6 Manejo de irrigação

Para os experimentos em vaso, manejou-se as irrigações pelo princípio da lisimetria de pesagem, considerando a reposição da lâmina no solo igual à diferença de massa do vaso entre duas irrigações. Estabeleceram-se valores mínimos de massa para cada tratamento aos quais os vasos deveriam atingir para serem novamente irrigados. As respectivas porcentagens de água no solo para os tratamentos estão de acordo com a curva de retenção de água deste solo.

Para os experimentos em solo, foram instalados manômetros com coluna de mercúrio, numa profundidade de 15 cm, para monitorar o potencial de água no solo e manejar a irrigação. As irrigações eram realizadas para elevar o potencial estabelecido em cada tratamento à capacidade de campo, adotado como -10 kPa. A componente matricial do potencial total de água no solo nos tensiômetros foi determinada segundo Klar (1988) pela Equação (2):

$$\Psi_m = [(-12,6h + h_1 + h_2) \cdot 0,01] \quad (2)$$

onde, Ψ_m é a componente matricial do potencial total de água no solo (kPa), h é a altura da coluna de mercúrio (cm), h_1 é a altura do nível de mercúrio da cuba em relação ao solo (cm) e h_2 é a profundidade da cápsula do tensiômetro no solo (cm).

3.7 Fertirrigação

Nos experimentos onde o objetivo foi avaliar o efeito do fracionamento da fertirrigação, em um dos tratamentos toda a adubação necessária para a produção da alface, ocorreu no início do plantio (F1); num outro tratamento (F2), a metade da adubação ocorreu no início do plantio e a outra metade no meio do ciclo da cultura, uma vez planejada a colheita em 40 dias após o plantio; o tratamento (F3) foi fracionado 1/3 da adubação no início do plantio, 1/3 depois de 13 dias e o último terço após 26 dias do plantio; o tratamento (F4) foi fracionando em 4 partes, de 10 em 10 dias. Conseqüentemente, no final do ciclo da cultura, os quatro tratamentos de fertirrigação receberam a mesma dosagem de fertilizantes. Os fertilizantes usados foram, uréia, super simples e cloreto de potássio. A calagem deu-se com calcário aplicado em uma única parcela para todos os tratamentos. Foi feita uma coleta de extratos extraídos dos vasos no final do experimento 3. Todos os vasos foram colocados na mesma massa de 9100 g. O extrato foi coletado por meio de extratores introduzido no solo dos vasos até a profundidade máxima dos mesmos. Objetivou-se com isso determinar de forma indireta a absorção de fertilizantes por parte das alfaces em função dos tratamentos de fertirrigação, via teste de condutividade elétrica.

3.8 Delineamento geoestatístico

A análise da dependência espacial, determinada pelo variograma, foi obtida com o auxílio do Programa Geoestatístico GS+ “Geostatistical for Environmental Sciences”, Versão 5.0.3 Beta (GS+, 2000), que utilizou os valores das variáveis associados às suas respectivas coordenadas.

Nas análises estruturais do variograma foram fornecidos o efeito pepita (C_0), o patamar ($C + C_0$) e o alcance (A). Além desses, outros parâmetros foram

fornecidos para análise posterior: alcance efetivo, estrutura ou proporção espacial ($C/C+Co$), coeficiente de determinação (r^2).

A Krigagem ordinária dos valores obtidos dos atributos estudados, que consiste numa interpolação desses valores entre os pontos amostrados, foi efetuada pelo módulo Interpolação – Krigagem do programa GS+ (GS+, 2000), com a opção pontual por serem utilizadas amostras simples (WEBSTER, 1985). Os cálculos para a confecção dos mapas de krigagem seguiram o protocolo descrito por Burgess e Webster (1980). A visualização dos resultados foi feita na forma de mapas tridimensionais, através do programa GS+ (GS+, 2000).

3.9 Análise estatística descritiva

Para as análises estatísticas, utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, com auxílio do software Assistat.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1

No experimento 1 foi analisado a produção de 4 cultivares de alface x 4 potenciais de água no solo.

Na Figura 2, pode-se observar a evaporação diária do Tanque Classe A. Um aumento considerável da evaporação é observado a partir da data 18/08/08.

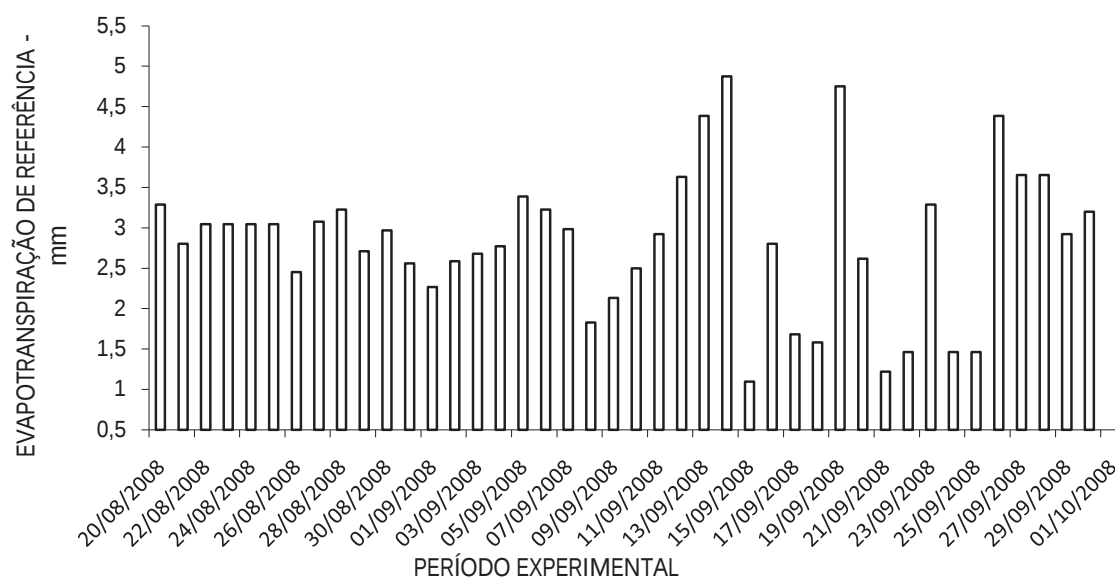


Figura 2. Evapotranspiração de referência registrada pelo Tanque Classe A no período de 01/08 a 09/09/2008.

Na Figura 3, tem-se as médias da umidade relativa avaliada por termômetros de bulbo seco e úmido.

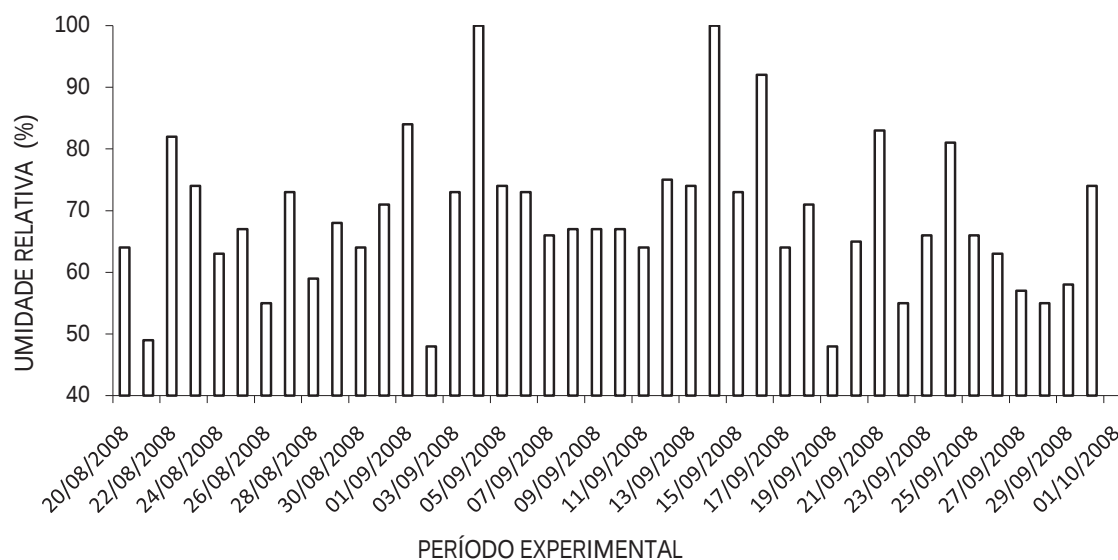


Figura 3. Umidade relativa média no período experimental.

Na Figura 4, tem-se as temperaturas máximas, mínimas e médias avaliada por termômetros.

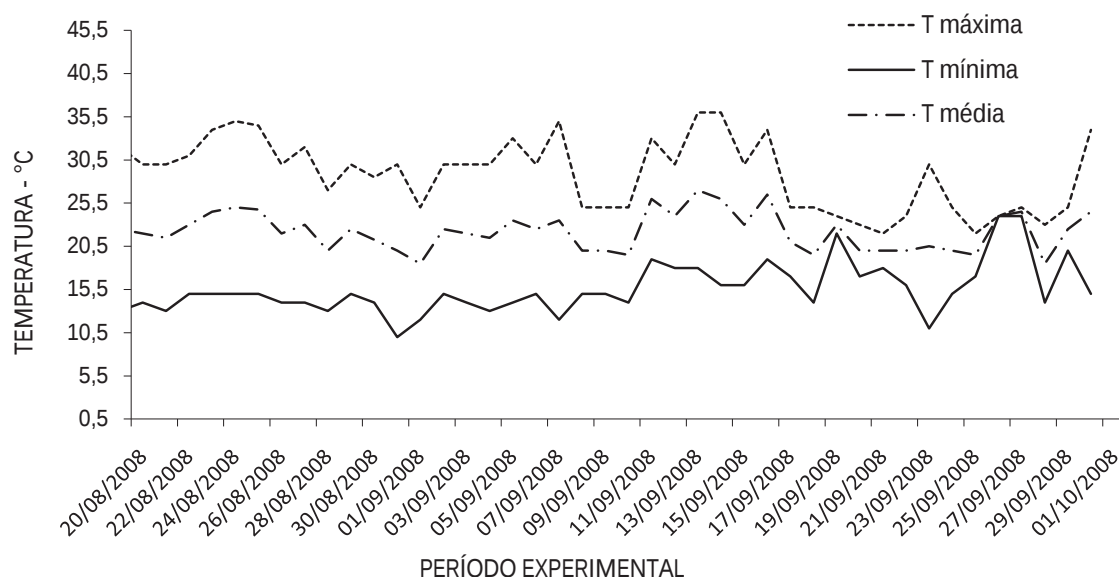


Figura 4. Temperaturas máximas, mínimas e médias no período experimental.

Na Tabela 7, observa-se a massa final dos vasos antes das irrigações, os potenciais de água no solo, os respectivos valores de umidade em cada tratamento, os valores das lâminas totais aplicadas para cada tratamento ao longo do experimento, o número de irrigações totais e o turno de rega médio. Para a lâmina aplicada, foi considerada a média geral, não diferenciando os tratamentos de cultivares.

Tabela 7. Massa mínima dos vasos antes da irrigação; potenciais mínimos de água; teores mínimos de água; lâminas totais durante o experimento; número de irrigação e turno de rega média.

Tratamento	Massa final dos vasos (g)	Potenciais - (kPa)	Umidade do solo (%)	Lâmina aplicada (mm)	Nº de irrigações	TR (dias)
T1	10100	00	30,00	nc	nc	nc
T2	9040	05	18,00	182,49	8	5
T3	8860	13	14,40	136,99	5	8
T4	8690	22	13,20	121,48	4	10

nc – não contabilizado

A Figura 5 mostra a evapotranspiração das cultivares ao longo do experimento para o tratamento T2. Os tratamentos foram diferenciados no dia 01/08/2008, data esta em que os vasos foram irrigados até a massa total de 10100g. Observa-se que as cultivares tiveram um comportamento uniforme entre si quanto à evapotranspiração. A cultivar mimosa teve maiores perdas de água que as demais. Esta tem a característica de possuir folhas rugosas e finas e maior superfície de contato com a atmosfera, e conseqüentemente maior perda de água. Ao contrário da Mimosa, a alface Roxa teve a menor evapotranspiração na maior parte do tempo experimental, devendo-se a sua adaptação à maior resistência às perdas de água. Como suas folhas são de coloração escura, que por natureza recebem mais energia calórica, as células provavelmente se defendem através de mecanismos mais adaptados para a resistência à perda de água. As duas outras apresentaram-se de forma intermediária.

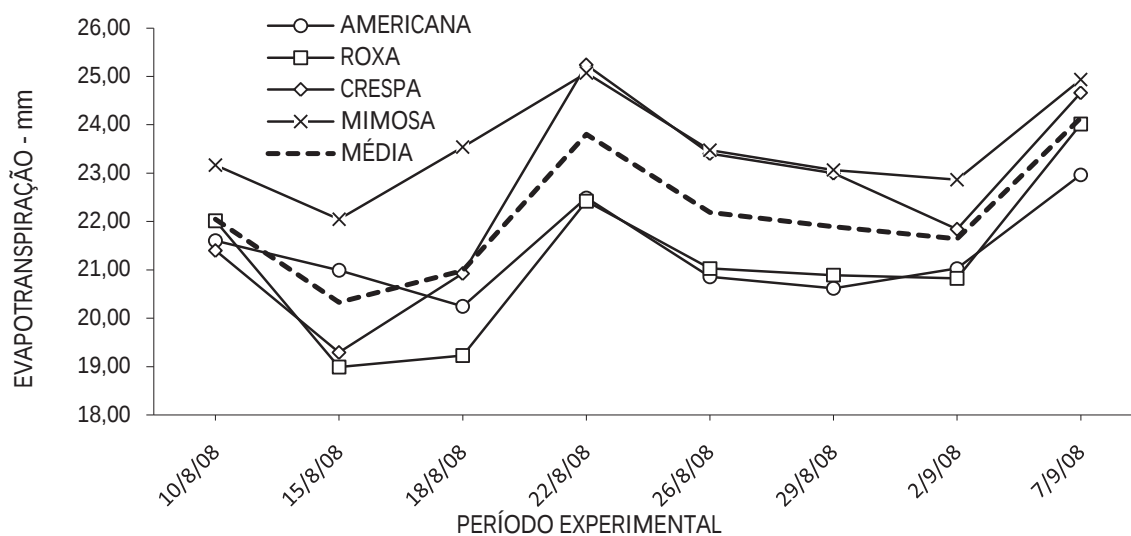


Figura 5. Evapotranspiração das quatro cultivares do tratamento T2, em função do período experimental.

A Figura 6 ilustra a evapotranspiração total registrada no experimento em função dos tratamentos de potenciais. As alfices do tratamento - 5 kPa, foram as que mais evapotranspiraram e também foi o tratamento mais produtivo (Figura 8). Na mesma sequência de produção em função dos tratamentos estão as sequências de evapotranspiração, sendo os de -13 e -22 kPa os segundos e terceiros mais produtivos. A alfice Mimosa foi a que registrou maior evapotranspiração, em todos os potenciais observados, seguido da Crespa, Americana e Roxa.

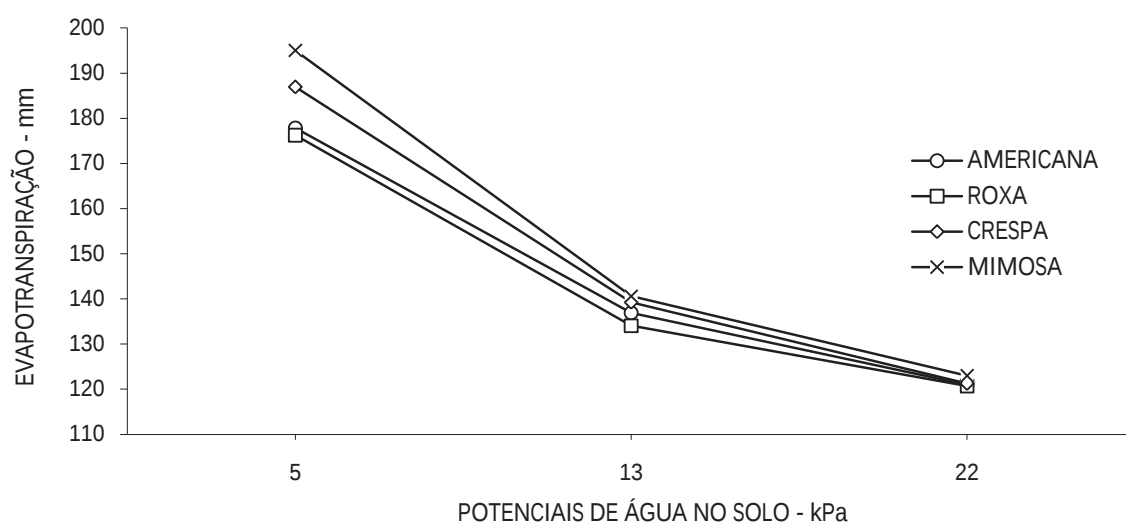


Figura 6. Evapotranspiração total das alfices em função dos potenciais de água no solo.

A Figura 7 mostra as curvas de produção de massa fresca das quatro alfaces experimentadas em função das lâminas aplicadas ao longo do experimento, bem como as equações de ajuste. A alface Americana apresentou maior produção de massa fresca, em todas as lâminas aplicadas. Em todos os tratamentos, a alface Mimosa foi a que consumiu maior quantidade de água, seguida da crespa. A Roxa consumiu menos água que as demais, em todos os tratamentos observados. Cada cultivar apresenta uma lâmina ótima para seu cultivo, diferente das demais, como observa-se na Americana, que está em torno de 160 mm. A Roxa, Crespa e Mimosa, com os respectivos valores de 155, 165 e 170 mm. Andrade Júnior (1994) encontrou valor de lâmina ótima, para a alface Americana, no valor de 142,3 mm, 44 % menor que o verificado neste experimento.

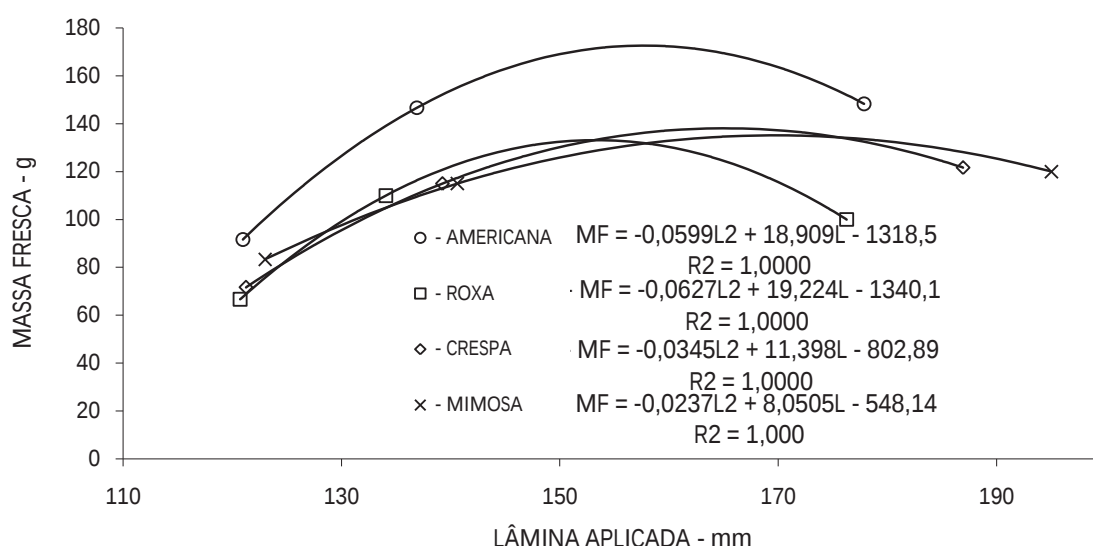


Figura 7. Massa fresca das quatro cultivares em função das diferentes lâminas aplicadas ao longo do experimento.

A Figura 8 mostra a curva da produção de massa fresca em função dos tratamentos de potenciais de água no solo, bem como as equações de ajuste. A alface Americana foi a que teve a maior produção, em todos os tratamentos. A alface Roxa teve a menor produção em todos os tratamentos observados. Os valores de potenciais ótimos na produção das alfaces, coincidiram em aproximadamente -12 kPa, valor este já observado por Silva e Marouelli (1998) como sendo ótimos na produção de hortaliças. Quanto a seqüência

dos tratamentos mais produtivos, pode-se observar que para a maioria das variedades foi de -5 kPa, seguido dos -13, -1 e -22 kPa.

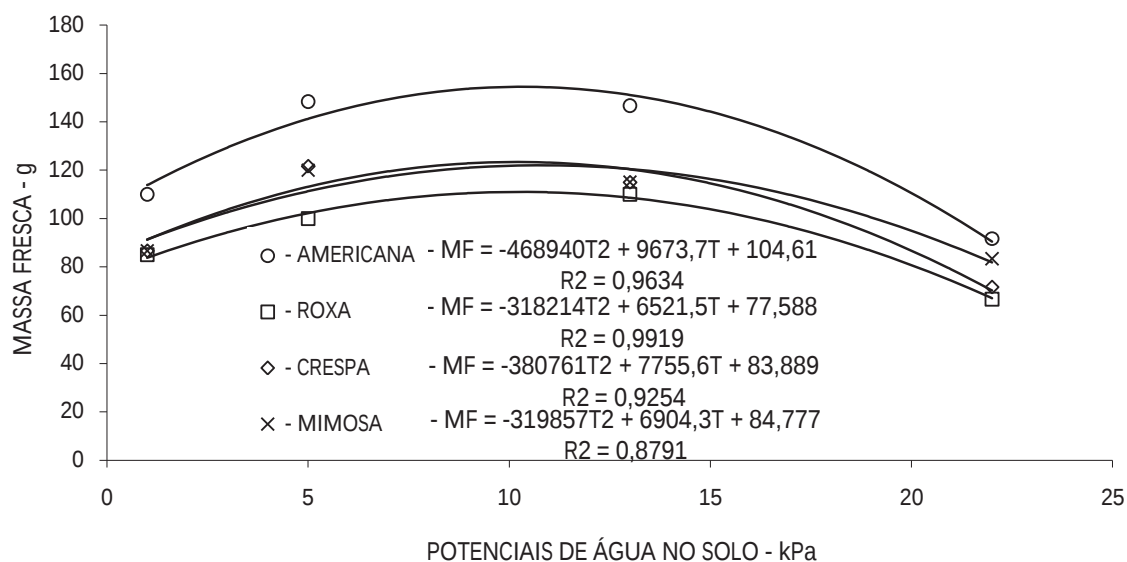


Figura 8. Produção de massa fresca em função dos potenciais de água no solo.

A Tabela 8 mostra a média das produções de massa fresca. Foram observadas diferenças significativas quanto às variedades de alface e tensões de água no solo. A alface Americana, foi a que teve em média a maior produção, seguida das alfaces Mimosa, Crespa e Roxa, respectivamente. O potencial correspondente à -5 kPa, foi o que proporcionou melhor condição de umidade no solo para a produção de massa fresca, seguida dos potenciais -13, -1 e -22 kPa. A alface Americana, no potencial de -5 kPa, é a combinação mais produtiva do experimento e a alface Roxa no potencial de -22 kPa a combinação menos produtiva. A média geral da produção e o coeficiente de variação da produção tiveram valores de 103.64g e 14.62%. A diferença mínima significativa entre as variedades e os potenciais ficou em 16.74g.

Tabela 8. Análise da produção média (g) considerando as cultivares e os potenciais mínimos de água no solo.

Potenciais - (kPa)	Variedades				Média do Potencial
	Americana	Roxa	Crespa	Mimosa	
00	110,00Ba	85,00ABb	86,66Bb	86,67Bb	92,08b
05	148,33Aa	100,00Ac	121,67Ab	120,00Ab	122,50a
13	146,66Aa	110,00Ab	115,00Ab	115,00Ab	121,67a
22	91,66Ca	66,67Ccba	71,67Bba	83,33Ba	78,33b
Média das cultivares	124,17A	90,42B	98,75B	101,25B	DMS = 16,74

Média seguida por letras distintas, maiúsculas e minúsculas na mesma linha ou coluna, difere entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.2 Experimento 2

No experimento 2 foi analisado a produção da alface roxa e crespa x evaporação x unidade do solo.

A avaliação do sistema de irrigação pode ser observada na Tabela 9. O número de coletores foram dezesseis, quatro para cada lateral. O CUC e o CUD caracterizaram uma ótima uniformidade de distribuição. O índice de uniformidade estatística, que avalia a relação entre a média das medidas com o desvio padrão, também foi classificado como ótimo.

A avaliação do sistema de irrigação pode ser observada na Tabela 7. O número de coletores foram dezesseis, quatro para cada linha lateral. O CUC e o CUD caracterizam uma ótima distribuição, acompanhado da uniformidade estatística, índice que avalia a relação entre a média das medidas com o desvio padrão.

Tabela 9. Número de coletores utilizados na avaliação do sistema, vazão média dos gotejadores, coeficiente de uniformidade de Christiansen, coeficiente de uniformidade de distribuição e uniformidade estatística.

Número de coletores	Vazão média Lh ⁻¹	CUC %	CUD %	Uniformidade estatística
16	1,33	98,20	97,06	97,81

A Figura 9 ilustra a distribuição dos dezesseis pontos coletados em relação à média. Pode-se observar que os pontos não se afastam mais que 5 % em relação a

média, confirmando que todas as plantas do experimento receberam de forma igualitária as lâminas de irrigação.

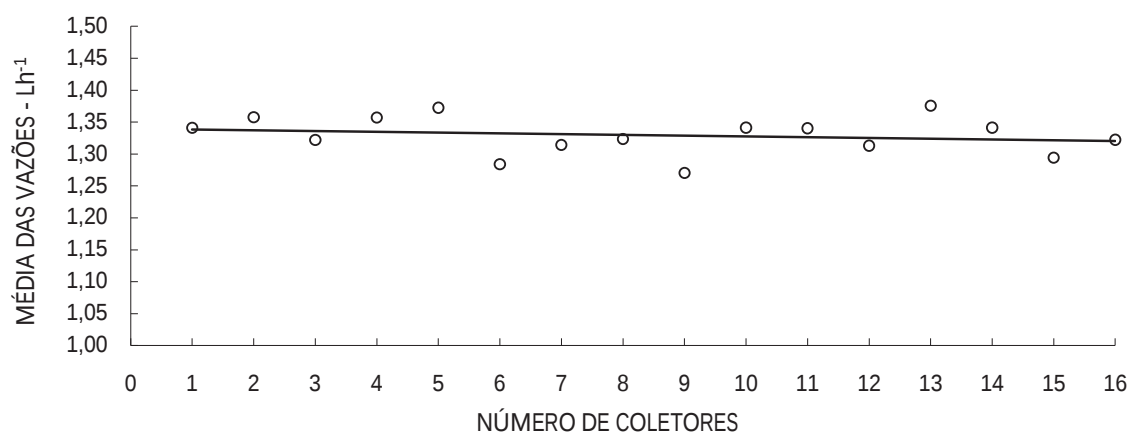


Figura 9. Distribuição das vazões dos gotejadores na avaliação do sistema.

Os dados obtidos da evaporação, da umidade do solo e da produção de massa fresca da alface foram analisados pelo variograma, com os respectivos parâmetros dispostos na Tabela 10.

Tabela 10. Escala das Figura 10, 11, 12, 13 e 14.

Escala	Figura 10 (mm)	Figura 11 (g g ⁻¹)	Figura 12 (g g ⁻¹)	Figura 13 (mm)	Figura 14 (g)
	90,96 - 93,07	0,25 - 0,26	0,21 - 0,21	11,78 - 13,65	286,17 - 352,09
	88,85 - 90,96	0,25 - 0,25	0,20 - 0,21	9,91 - 11,78	220,24 - 286,17
	86,73 - 88,85	0,24 - 0,25	0,19 - 0,20	8,04 - 9,91	154,32 - 220,24
	84,62 - 86,73	0,24 - 0,24	0,19 - 0,19	6,17 - 8,04	88,39 - 154,32
	82,51 - 84,62	0,23 - 0,24	0,18 - 0,19	4,30 - 6,17	22,47 - 88,39

Na Tabela 11 consta os valores do variograma. Os variogramas foram ajustados pelos modelos esféricos, exponencial e gaussiano, cujos alcances variam de 1,842 a 4,600, demonstrando que a amostragem teve o adensamento suficiente para ser detectada a dependência espacial entre os dados. O índice de dependência espacial apresentou valores de 0,999, onde a variabilidade das amostras é praticamente toda explicada pela variação das distâncias entre os dados e 0,884 quando 88,4% da variabilidade das amostras são explicadas pelas distâncias entre elas. Isso dentro do espaço correspondente a dependência

espacial. Os coeficientes de determinação mostraram bom ajuste entre os dados experimentais e o variograma teórico.

Tabela 11. Parâmetros variográficos das Figuras 10, 11, 12, 13 e 14.

Figuras	Modelo	Efeito Pepita Co	Patamar Co + C	Alcance (m)	r^2
10	Esférico	0,0100000	9,0910000	4,600	0,943
11	Exponencial	0,0000096	0,0000787	1,842	0,952
12	Esférico	0,0000029	0,0000640	2,110	0,884
13	Exponencial	0,3900000	5,1160000	4,090	0,929
14	Gaussiano	10,000000	8327,0000	2,927	0,939

Cada um dos fatores de evaporação, umidade dos solo e produção foram interpolados por Krigagem e suas respectivas distribuições espaciais estão dispostas nas Figuras 10, 11, 12, 13 e 14.

A Figura 10 mostra o mapa tridimensional da variabilidade espacial da evaporação nos 60 pontos monitorados pelos evaporímetros. Observa-se que próximo a entrada da estufa, e aproximadamente nove metros desta, a evaporação foi mais intensa, e entre quatro e oito metros observam-se os menores valores de evaporação. Esta mesma distribuição na evaporação já havia sido observada por Santos e Klar (2003) na mesma estufa, para o mesmo período do ano.

Há uma grande concentração de energia térmica confinada em alguns pontos da estufa, causando maior incidência de evaporação nestas regiões. A causa destas concentrações energéticas em determinados pontos, estão relacionadas com a formação de ondas eletromagnética que ficam estacionadas dentro da estufa, entendendo que os picos de evaporação condizem com as cristas das ondas. Quando se analisa este fenômeno para a estufa inteira, como feito por Santos e Klar (2003), vê-se que os picos das evaporações estão espaçados em distâncias iguais, de aproximadamente 8 m, podendo melhor ser observado o formato da onda eletromagnética.

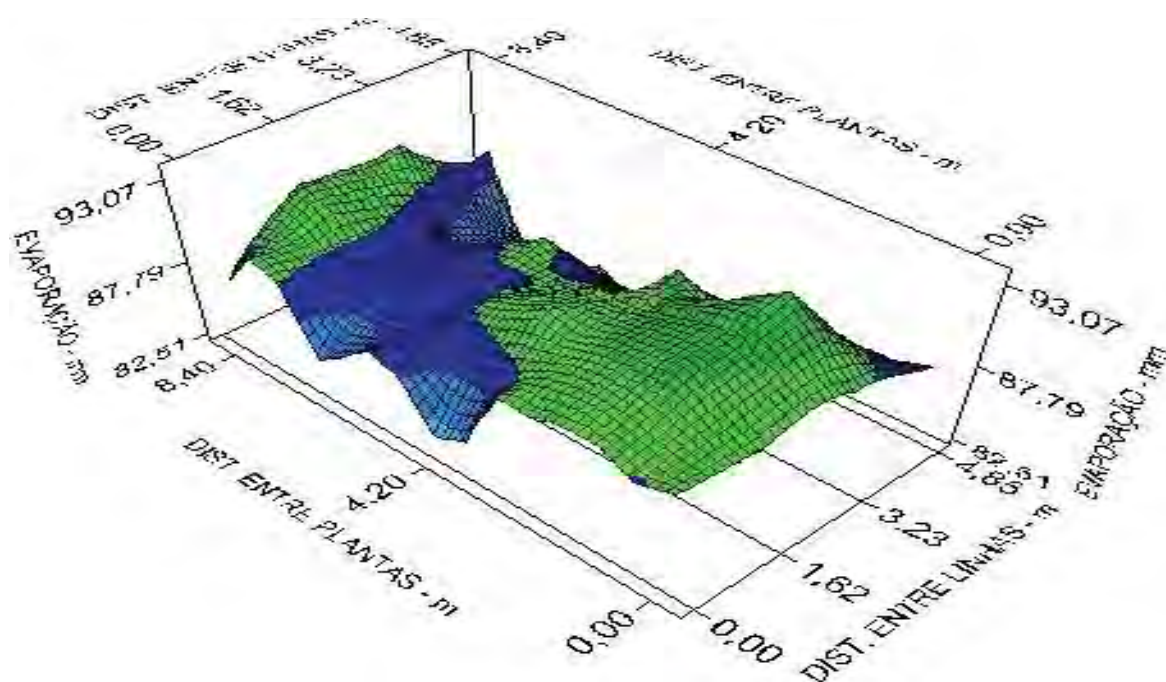


Figura 10. Evaporação total ocorrida no interior da estufa.

A Figura 11 mostra a distribuição da umidade do solo, 6 h após a irrigação. Observa-se uma semelhança deste mapa com o da evaporação. As regiões mais úmidas foram as que receberam mais energia térmica, ficando a água da irrigação localizada mais sobre a superfície do solo, como forma de equilibrar os potenciais energéticos. Já nas regiões centrais, de menor evaporação, ocorreram maior percolação de água para regiões mais profundas.

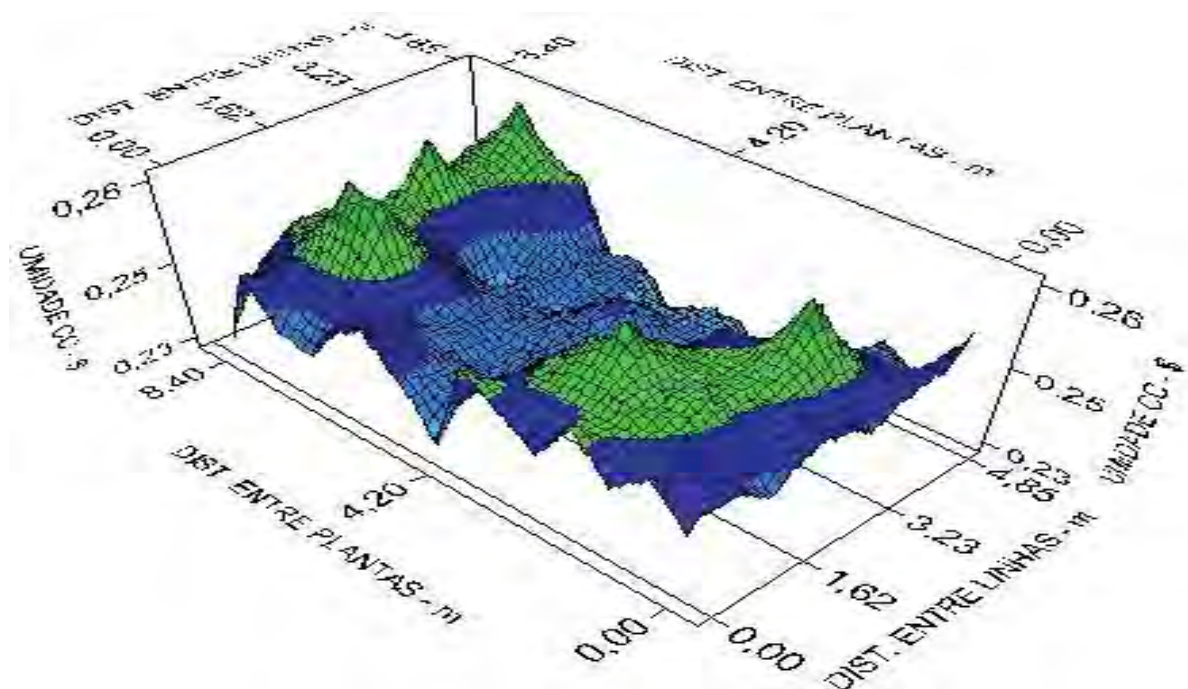


Figura 11. Umidade do solo (g g^{-1}) após a irrigação.

A Figura 12 vem reforçar a tese de que a evaporação é o fator determinante na dinâmica de água na superfície do solo. A umidade desta figura foi determinado momentos antes de se proceder a irrigação, em média 3 dias após a irrigação anterior, observando-se que as regiões mais secas foram em média aquelas que receberam maior concentração de energia, conforme é apresentado pela Figura 10. Apesar de inicialmente terem valores maiores de umidade, conforme mostrado na Figura 11, os pontos das regiões extremas perderam mais umidade para a atmosfera, ficando em média mais secos que os pontos das regiões centrais. Os pontos localizados na linha lateral ao longo da posição $x = 4,85 \text{ m}$, tiveram altos teores de umidade em relação às outras linhas, devido à existência do rodapé da estufa, que impedia a incidência do sol sobre o solo daquela região.

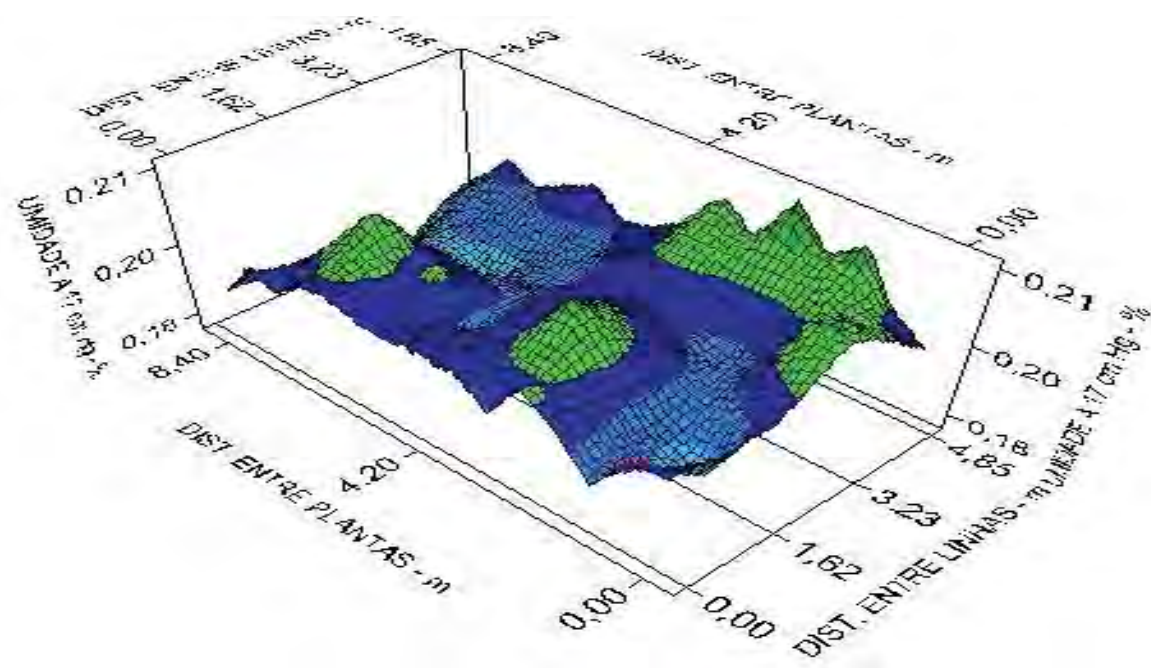


Figura 12. Umidade do solo (g g^{-1}) antes da irrigação.

A Figura 13 mostra o armazenamento de água no solo. Assemelha-se muito com o mapa da evaporação, uma vez que as regiões de maiores valores de evaporação receberam maiores variações nos teores de água no solo entre as irrigações.

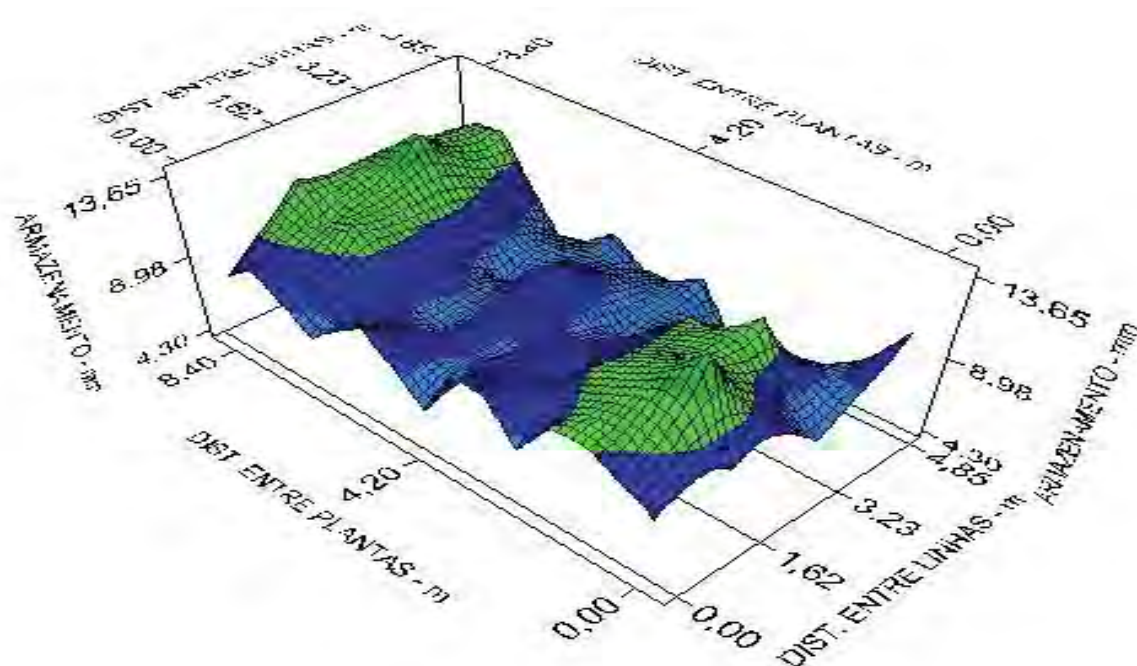


Figura 13. Armazenamento de água no solo (mm) entre as irrigações.

A Figura 14 representa a média das massas fresca das alfaces Roxa e Crespa em cada ponto. Como havia quatro pés de alface por ponto observado, duas Roxa e duas Crespa, calcularam-se a média, obtendo-se a massa média por ponto amostrado. É observado que os pontos ao longo da linha lateral localizada no ponto $x = 3,23$ m, obtiveram maiores valores de massa verde. As extremidades da estufa apresentaram maiores valores de produção. Nestas regiões também foram observados maiores valores de evaporação e armazenamento de água no solo, o que pode ser um fator explicativo da variação na produção, já que nessas regiões ocorreram processos metabólicos mais acelerados, como a fotossíntese. Como não houve déficit de água, a dinâmica mais acelerada da água, entre o sistema solo-planta-atmosfera, beneficiou a cultura em seu desenvolvimento.

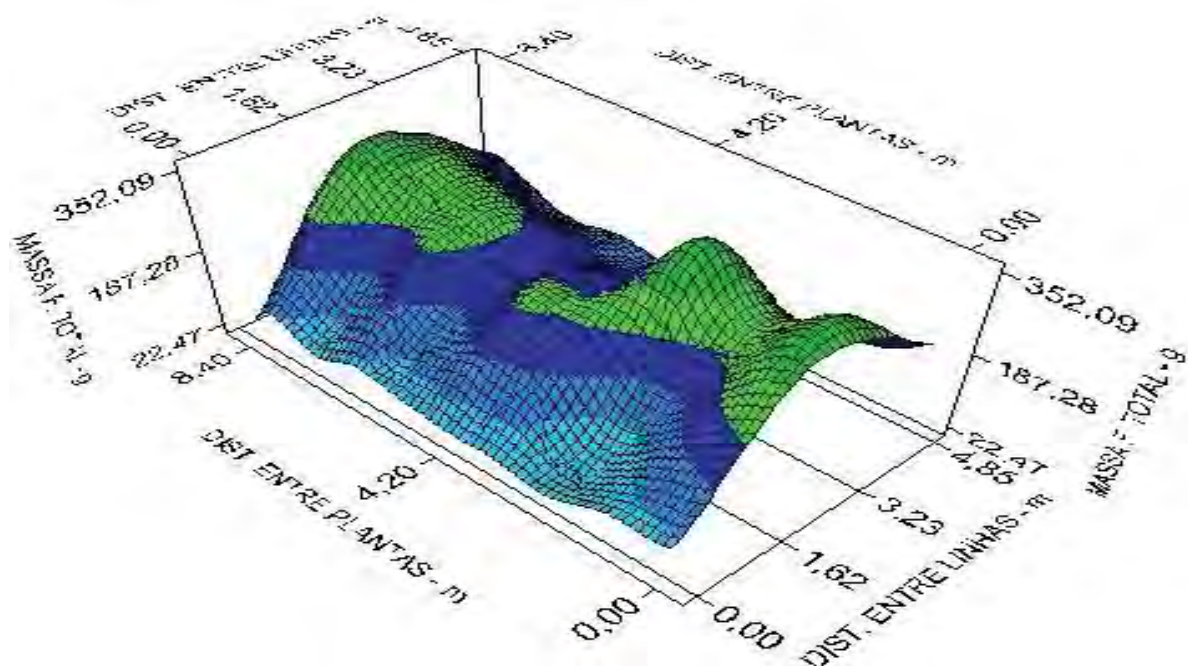


Figura 14. Produção total de massa fresca (g).

Como a Figura 14 não permite uma boa visualização do que ocorre com a produção ao longo das demais linhas, justamente porque a linha lateral de maior produção camuflou a distribuição das outras, foram propostos outras figuras que permitam esta visualização.

A Figura 15 diz respeito à produção de massa verde, evaporação e armazenamento de água no solo, que ocorre ao longo de cada linha lateral. Em média, as extremidades de cada linha apresentam maiores valores de massa verde, evaporação e armazenamento de água no solo. Essa tendência é acentuada nas linhas laterais 3 e 4. A linha lateral de maior produção foi a de número 3, seguida da 2, 4 e 1. Pode-se observar que há uma tendência direta entre os valores da evaporação com os do armazenamentos, ou seja, onde a evaporação foi mais intensa, houve maiores distância entre os vapores de umidade do solo entre as irrigações, aumentando o armazenamento de água no solo.

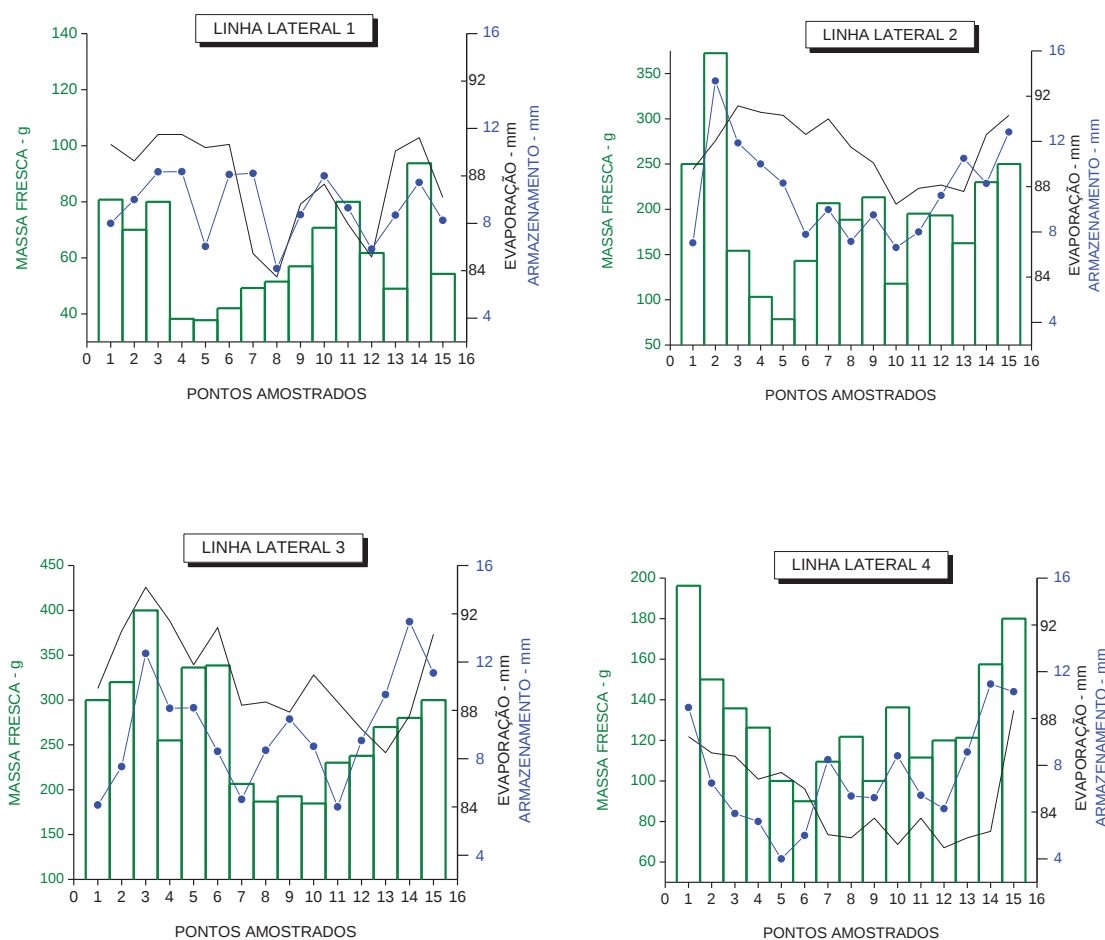


Figura 15. Produção de massa fresca, evaporação e armazenamento de água no solo ao longo das quatro linhas laterais.

A Figura 16 mostra as localidades onde as alfaces Roxa tiveram maiores produções que a Crespa. Os pontos roxos designam a cultivar Roxa e os azuis a Crespa. É notável que as alfaces roxas tiveram melhor desempenho nas regiões centrais, de menor incidência de energia. A grande maioria dos pontos, 71,66 %, tiveram maiores desempenhos da alface Crespa.

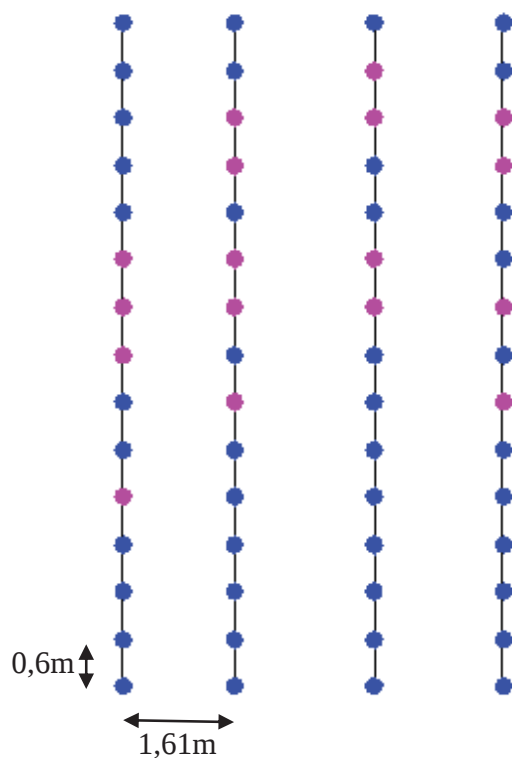


Figura 16. Espacialização dos pontos amostrais.

4.3 Experimento 3

Neste experimento, analisou-se a produção da alface crespa x potencial de água no solo x fracionamento da fertirrigação.

No interior da estufa, foi instalado um Tanque Classe A para monitorar a evaporação local, cujas medições foram registradas diariamente, sempre as 9:00 horas (Fig. 17). As umidade relativa foram registradas por um termômetro de bulbo seco e úmido (Fig. 18) e as temperaturas internas por um termômetro digital de máxima e mínima (Fig. 19).

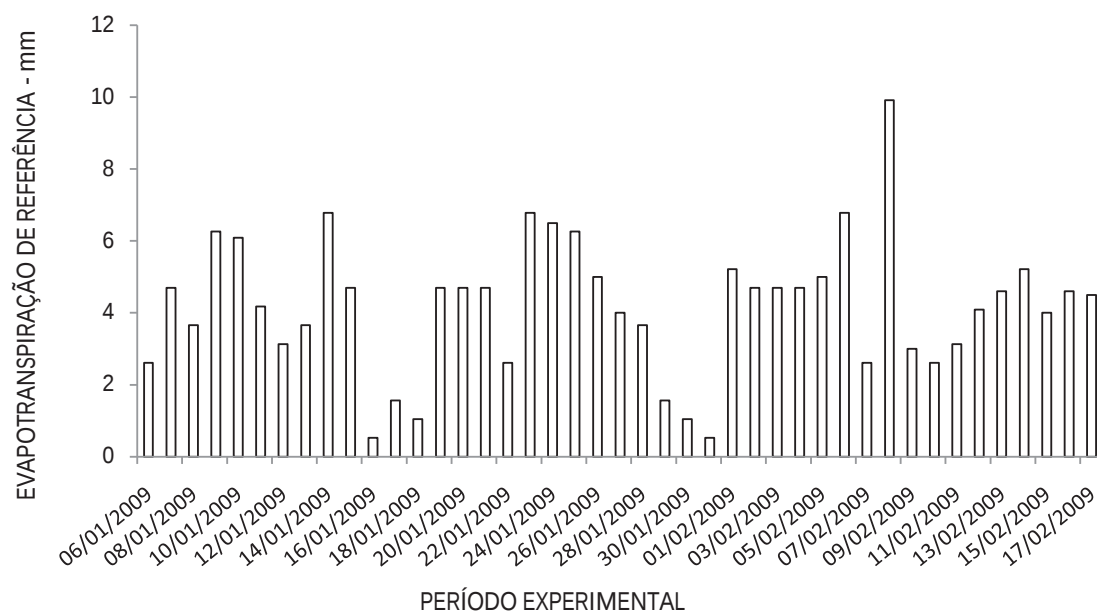


Figura 17. Evapotranspiração de referência registrado pelo Tanque Classe A no período experimental.

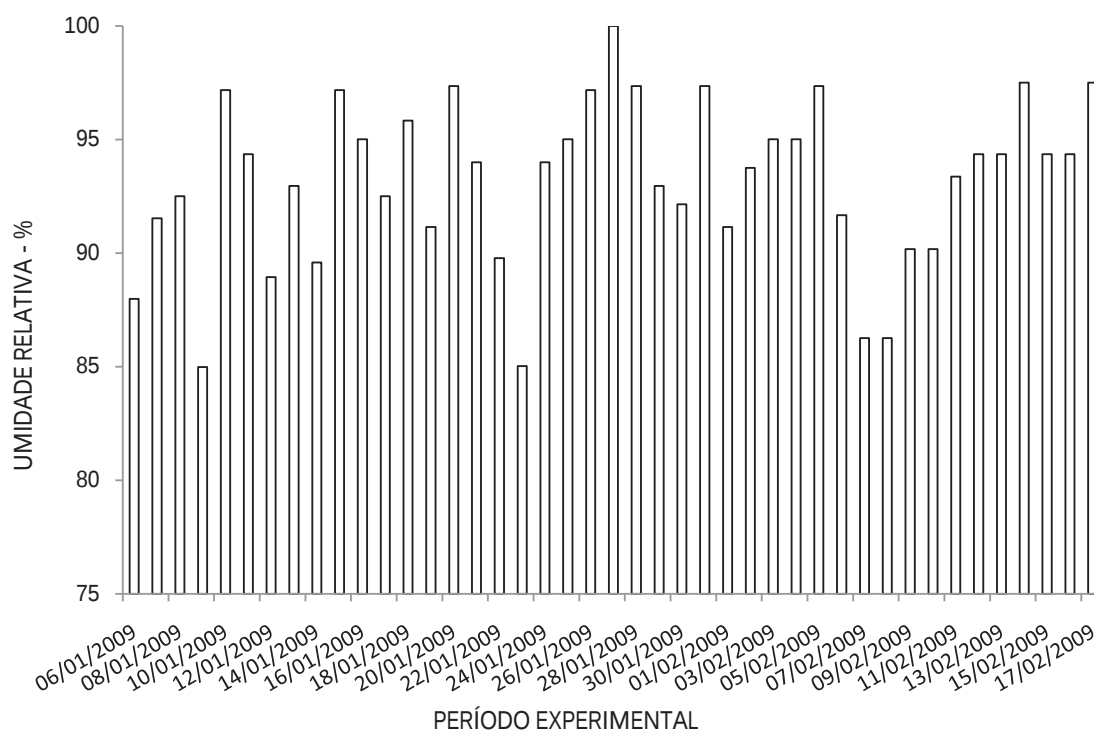


Figura 18. Umidade relativa média no período experimental.

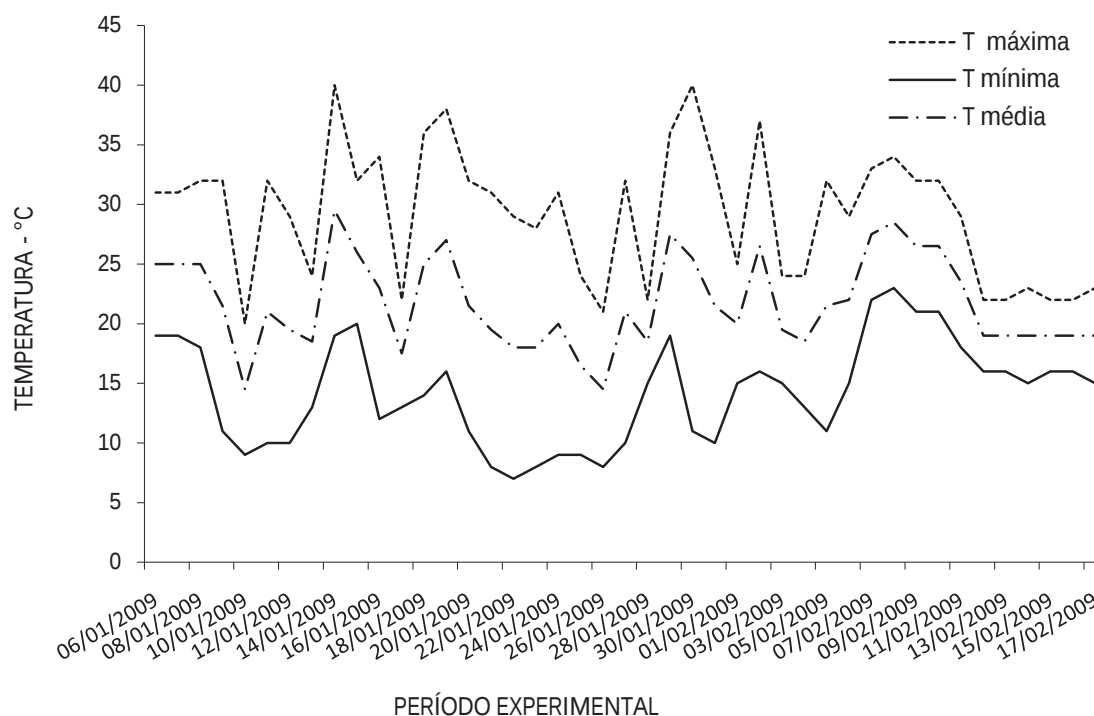


Figura 19. Temperaturas máximas e mínimas no período experimental.

Foi determinada a evapotranspiração máxima da alface através dos vasos do tratamento -20 kPa, por ter recebido lâminas com maiores frequências, permanecendo nas condições potenciais durante o experimento.

Na Tabela 12, observa-se a massa final dos vasos antes das irrigações, os potenciais de água no solo, as respectivas umidades em cada tratamento e os valores das lâminas totais aplicadas para cada tratamento ao longo do experimento, o número de irrigações totais, o turno de rega médio. Para a lâmina aplicada, foi considerada a média geral, não diferenciando os tratamentos de fertirrigação. Observa-se que o tratamento de menor potencial de água foi irrigado menor número de vezes, já que maior foi o tempo para que a água nele contido evapotranspirasse até a massa estabelecida. Já o de maior potencial recebia água com maiores frequências. Os potenciais de água no solo foram estabelecidos segundo a curva de retenção de água no solo. O turno de rega foi calculado considerando 40 dias de experimento e o número de irrigações ao longo dele.

Tabela 12. Massa mínima dos vasos antes da irrigação; potenciais de água mínimos; teores mínimos de água; lâminas totais de água durante o experimento; número de irrigações e turno de rega média.

Tratamento	Massa final dos vasos (g)	Potenciais - (kPa)	Umidade do solo (%)	Lâmina Aplicada (mm)	Nº de irrigações	TR Dias
L1	9100	20	15,00	114,09	6	7
L2	9000	30	14,00	99,55	5	8
L3	8900	100	12,00	77,80	4	10

A Figura 20 mostra a evapotranspiração da alface ao longo do experimento no tratamento de lâmina L1, considerando os tratamentos de fertirrigação. O experimento teve início no dia 06/01/2009, data esta em que os vasos foram irrigados até a massa total de 10100g. Observa-se que, em média, os tratamentos tiveram uma tendência uniforme entre si quanto à evapotranspiração, apesar de que o tratamento F1 iniciou com maior evapotranspiração e terminou com menor evapotranspiração.

Como este tratamento recebeu toda a adubação no início do plantio, teve maior crescimento que os demais no início, perdendo a posição para os demais a partir da segunda metade do ciclo. Observa-se também pelo gráfico, o número, as médias e as datas das irrigações.

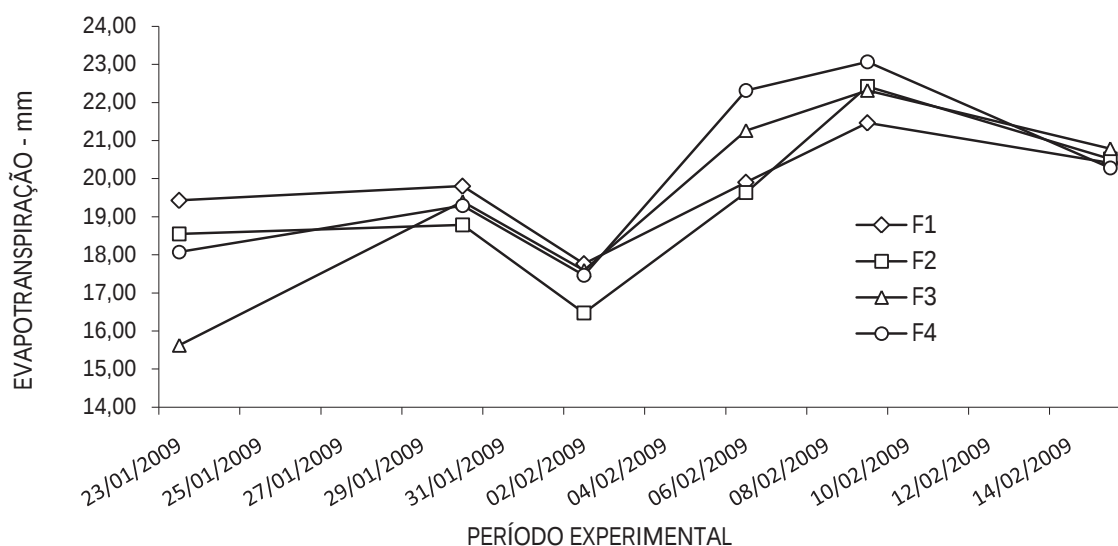


Figura 20. Evapotranspiração das quatro cultivares em função do tempo no tratamento L1.

A Figura 21 ilustra a evapotranspiração registrada no experimento em função dos potenciais de água no solo, para os quatro tratamentos de fertirrigação. O

tratamento de potencial -20 kPa foi o que mais evapotranspirou e também foi o tratamento mais produtivo em massa fresca. Os tratamentos de fertirrigação F4, F2 e F1 foram os que mais evapotranspiraram nos respectivos potenciais de -20, -30 e -100 kPa.

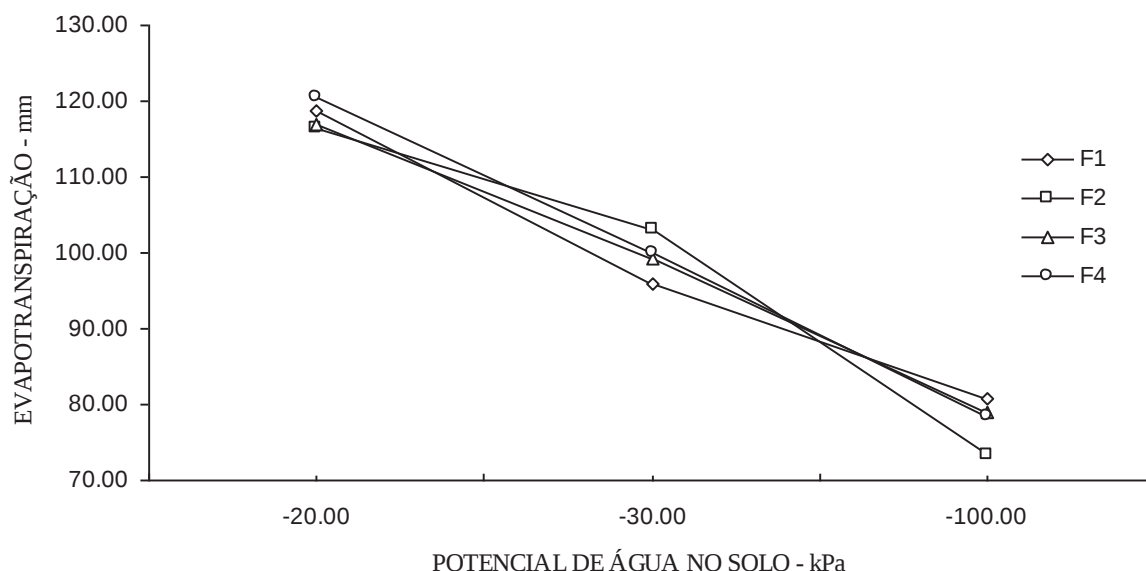


Figura 21. Evapotranspiração em função dos potenciais de água no solo.

A Figura 22 mostra a sequência da produção de massa fresca da alface crespa em função dos tratamentos de fertirrigação para as três lâminas aplicadas. A lâmina L1 permanece mais produtiva em todos os parcelamentos da fertirrigação. A sequência de produção para as lâminas L1, L2 e média são iguais, com o tratamento F2 sendo mais produtivo, seguido do F4, F3 e F1, sugerindo que fracionamentos maiores que dois não trazem melhores resultados na produção da alface. É possível que a partir da segunda metade do ciclo da cultura, o nível de atividade fotossintética e metabólica da cultura sofra uma redução, fazendo com que o nível de energia gasta na absorção de nutrientes se reduza também.

Assim, fracionamento da fertirrigação que vá além da segunda metade do ciclo da alface não contribui para melhores rendimentos na produção, ao contrario do que é sugerido por Meirelles et al. (1980). Como a pesquisa se deu em vasos, onde os nutrientes adicionados ficam contidos no solo, há possibilidade que o mesmo resultado não seja encontrado em plantio sobre o solo natural, pois a lixiviação de nutrientes seria bem mais intensa, favorecendo um manejo de fertirrigação diferenciado do que é proposto neste trabalho. A lâmina L3 destoa do comportamento das demais lâminas, onde a maior produção

se deu no tratamento F3, seguido do F4, F1 e F2. É possível que devido ao estresse causado pela seca, a cultura tenha sofrido alterações em sua fisiologia.

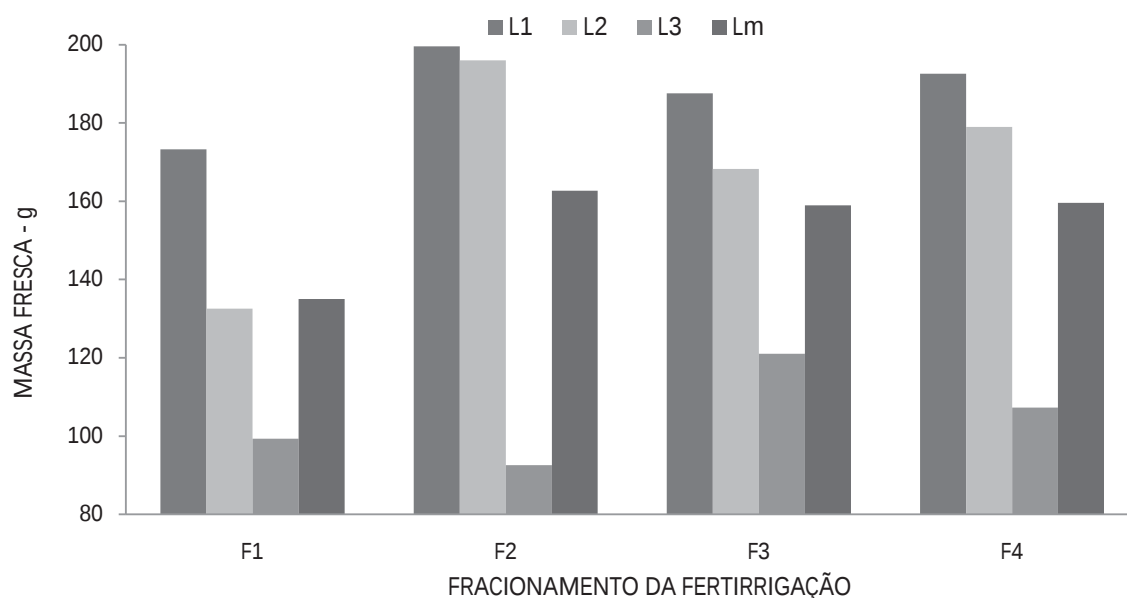


Figura 22. Produção de massa fresca em função dos tratamentos de fertirrigação e lâminas.

A Tabela 13 mostra a média das produções de matérias frescas e a análise estatística usando o teste de Tukey. São observadas diferenças significativas quanto às lâminas e quanto às fertirrigações. Apenas o tratamento F1 difere dos demais tratamentos de fertirrigação, não havendo, portanto, necessidades de fracionamento da fertirrigação maior que dois, se bem que os dados sugerem que prejuízos não ocorrerão com fracionamentos maiores. Quanto aos tratamentos de lâminas, observa-se diferença significativa entre os três níveis de irrigação, sugerindo que a melhor lâmina de irrigação entre as três, seja a L1.

Tabela 13. Produção de massa fresca (g) considerando os tratamentos de lâmina e de fertirrigação.

Lâminas Aplicadas	Tratamentos de Fertirrigação				Média das Lâminas
	F1	F2	F3	F4	
L1	173,3 Aa	199,6 Ba	187,6 ABa	192,6 ABa	188.27 a
L2	132,6 Ab	196,0 Ba	168,3 Cb	179,0 BCa	169.00 b
L3	99,3 Ac	92,6 Ab	121,0 Bc	107,3 ABb	105.08 c
Média das fertirrigações	135.11 A	161.44 B	159.00 B	159.66 B	

Média da produção - 153.80 g

Coeficiente de variação – 10,68 %

Diferença mínima significativa entre as lâminas – 16,74 g

Diferença mínima significativa entre as fertirrigações – 21,35 g

Média seguida por letras distintas, maiúsculas e minúsculas na mesma linha ou coluna, difere entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A Figura 23 mostra a condutividade elétrica da solução extraída do solo dos vasos após a colheita das alfaces, na unidade de $\mu\text{S}/\text{cm}$. Observa-se que para os quatro parcelamentos da fertirrigação, F1, F2, F3 e F4 a mesma tendência de condutividade em função das lâminas são observados, sendo L2 o maior valor, seguido do L3 e L1. Pode-se concluir com esta observação que o tratamento que recebeu maior lâmina, L1, consumiu mais nutrientes da adubação, resultando numa solução de menor condutividade elétrica.

Esse consumo de nutrientes possivelmente foi maior devido ao porte mais desenvolvido das plantas, como é observado na Tabela 13. O tratamento L3, em todos os parcelamentos de fertirrigação, absorveu mais nutrientes que o tratamento L2, possivelmente devido ao estresse que a cultura sofreu pela pouca lâmina de irrigação, adaptando-se a absorver mais nutrientes para se manter viva. O parcelamento F3 consumiu mais nutriente, para todas as lâminas aplicadas.

Quando se examina a produção de massa fresca deste tratamento, observa-se que ele não é o mais produtivo, e sim o F2, concluindo que a capacidade de absorção de nutrientes não está ligada somente à produção de massa fresca aérea, mas também ao desenvolvimento do sistema radicular, como se observa na Figura 24. Em média, o parcelamento F4 resultou em maiores valores de condutividade, seguidos do F1, F2 e F3. É possível que o tratamento F4 não tenha seguido a tendência de decréscimo da condutividade observado nos demais tratamentos, pelo fato de que a última parcela de

fertirrigação deste tratamento foi pouco utilizado pela cultura, que já esta se encontrava num estágio de maturação completo.

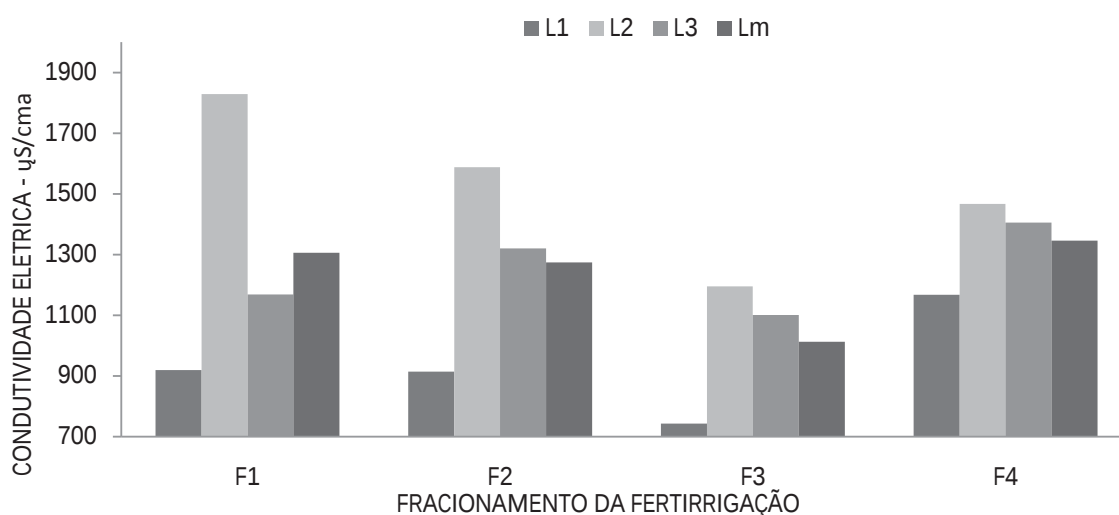


Figura 23. Condutividade elétrica da solução extraída dos vasos em função dos tratamentos de fertirrigação e lâminas.

A Tabela 14 mostra a média das condutividades elétrica da solução extraída dos solos dos vasos em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a análise estatística usando o teste de Tukey. São observadas diferenças significativas apenas nas lâminas aplicadas. Isto sugere que o volume de água aplicado no solo é um fator significativo para favorecer a cultura na absorção dos nutrientes. O tratamento L1 apresentou menor condutividade elétrica, sendo o único tratamento que diferiu estatisticamente dos demais. Não houve diferença significativa entre os tratamentos de fertirrigação, sugerindo que o fracionamento da fertirrigação não é um fator que contribui significativamente na absorção de nutrientes pela cultura.

Tabela 14. Condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) da solução extraída do solo dos vasos considerando os tratamentos de lâmina e de fertirrigação.

Lâminas Aplicadas	Tratamentos de Fertirrigação				Média das Lâminas
	F1	F2	F3	F4	
L1	919,7BCa	913,7Ba	742,4Ba	1167Ba	935.7 b
L2	1829Aa	1588Aa	1195Aab	1467Aa	1519.7 a
L3	1168Ba	1320Aa	1101Aa	1405Aa	1248.5 a
Média das fertirrigações	1305.6 A	1273.9 A	1012.8 A	1346.3 A	

Média da produção - 1234.65 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Coeficiente de variação – 12.94 %
 Diferença mínima significativa entre as lâminas – 346.75 $\mu\text{S}/\text{cm}$
 Diferença mínima significativa entre as fertirrigações – 452.06 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Média seguida por letras distintas, maiúsculas e minúsculas na mesma linha ou coluna, difere entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A Figura 24 mostra a produção de massa seca das raízes em função dos tratamentos de fertirrigação e lâmina. Em todas as lâminas, o parcelamento F3 resultou em sistema radicular mais desenvolvido. Essa tendência já era esperada, já que a Figura 23 mostra que o parcelamento F3 absorveu mais nutrientes que os demais, mesmo não sendo o parcelamento mais produtivo, como mostra a Figura 22, concluindo que boa parte dos nutrientes absorvidos foram usados no sistema radicular. Houve uma tendência de crescimento das raízes de F1 a F3, vindo a diminuir com no F4.

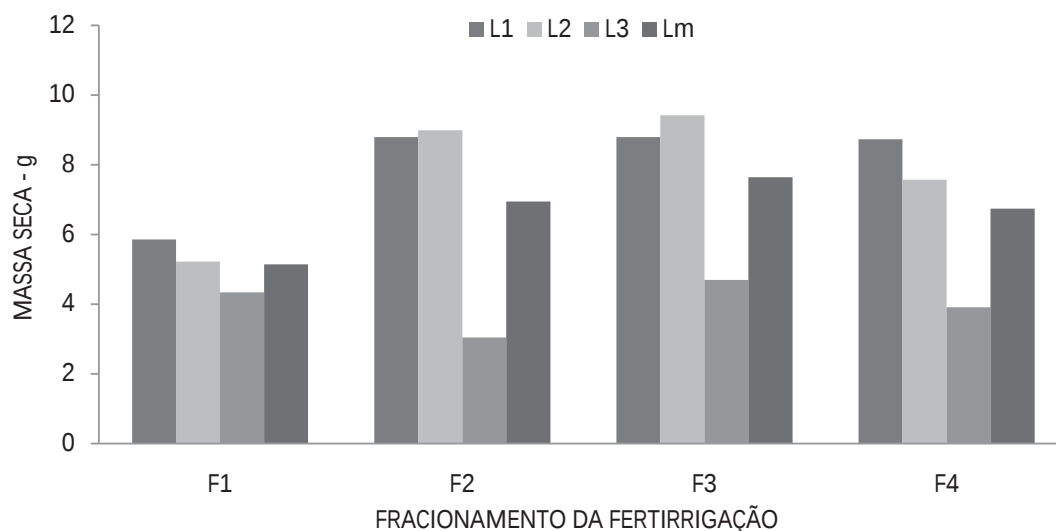


Figura 24. Massa seca das raízes em função dos tratamentos de fertirrigação e lâminas.

A Tabela 15 mostra a média das massas secas das raízes e a análise estatística usando o teste de Tukey. São observadas diferenças significativas apenas nas lâminas aplicadas. Isto sugere que o volume de água aplicado no solo é um fator significativo para o desenvolvimento radicular. O tratamento L1 apresentou em média maior desenvolvimento das raízes, seguido do L2 e L3. O tratamento L3 foi o único que diferiu estatisticamente dos demais. Não houve diferença significativa entre os tratamentos de fertirrigação, sugerindo que o fracionamento da fertirrigação não é um fator que contribui significativamente no desenvolvimento das raízes.

Tabela 15. Massa seca das raízes, considerando os tratamentos de lâmina e de fertirrigação.

Lâminas Aplicadas	Tratamentos de Fertirrigação				Média das Lâminas
	F1	F2	F3	F4	
L1	15,7777Aa	18,7164Aa	18,7164Aa	18,6532Aa	18.08097 a
L2	15,1444Aab	18,9056Aa	19,3415Aa	17,4906Aa	17.72053 a
L3	14,253Aa	12,9613Ba	14,6178Ba	13,8266Ba	13.91467 b
Média das fertirrigações	15.05837 A	16.86110 A	17.71197 A	16.65680 A	

Média da produção - 16.57206 g

Coeficiente de variação – 7.15651 %

Diferença mínima significativa entre as lâminas – 2.57358 g

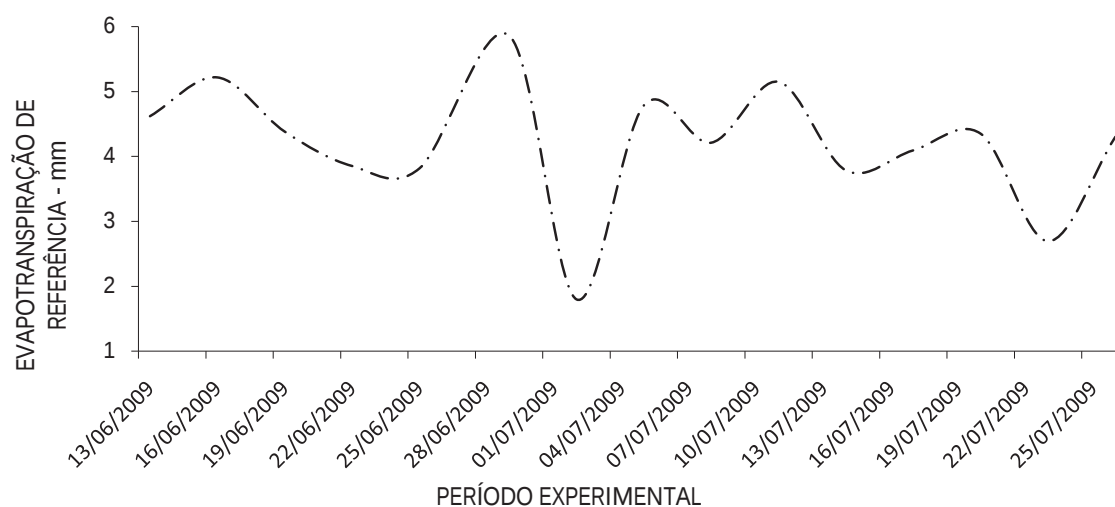
Diferença mínima significativa entre as fertirrigações – 3.35516 g

Média seguida por letras distintas, maiúsculas e minúsculas na mesma linha ou coluna, difere entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.4 Experimento 4

Neste experimento, analisou-se a produção da alface crespa x potencial de água no solo x fracionamento da fertirrigação.

No interior da estufa, foi instalado um Tanque Classe A para monitorar a evaporação local, cujas medições foram registradas diariamente, sempre as 9:00 horas (Fig. 25). As temperaturas internas foram registradas por um termômetro digital de máxima e mínima (Fig. 26). A umidade relativa foi determinada por um termo-higrômetro digital de máxima e mínima (Fig. 27).

**Figura 25.** Evapotranspiração registrado pelo Tanque Classe A no período experimental.

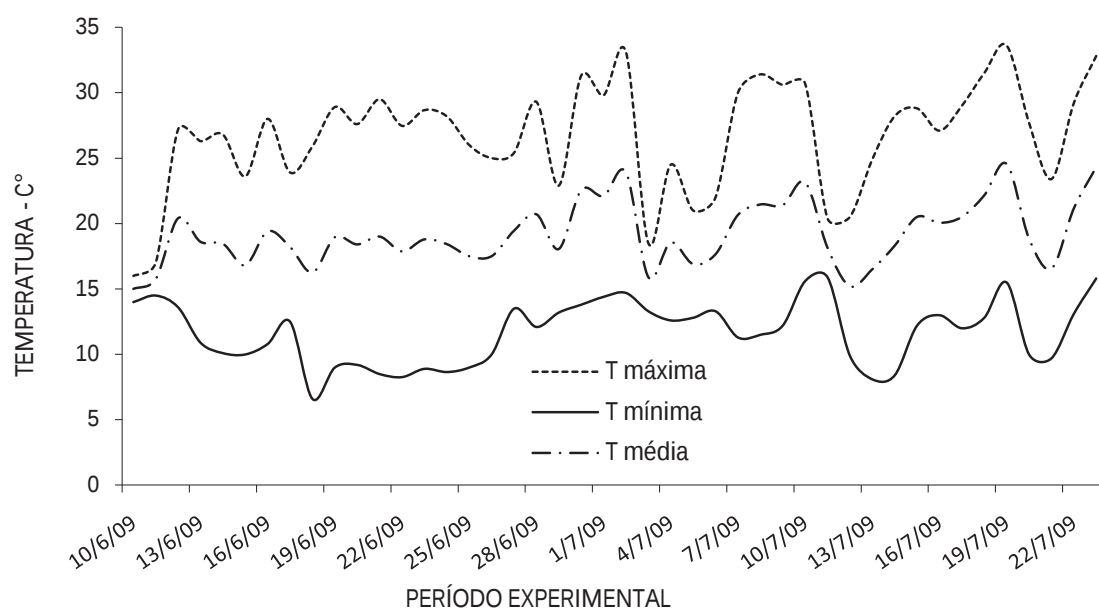


Figura 26. Temperaturas máximas, mínimas e médias no período experimental.

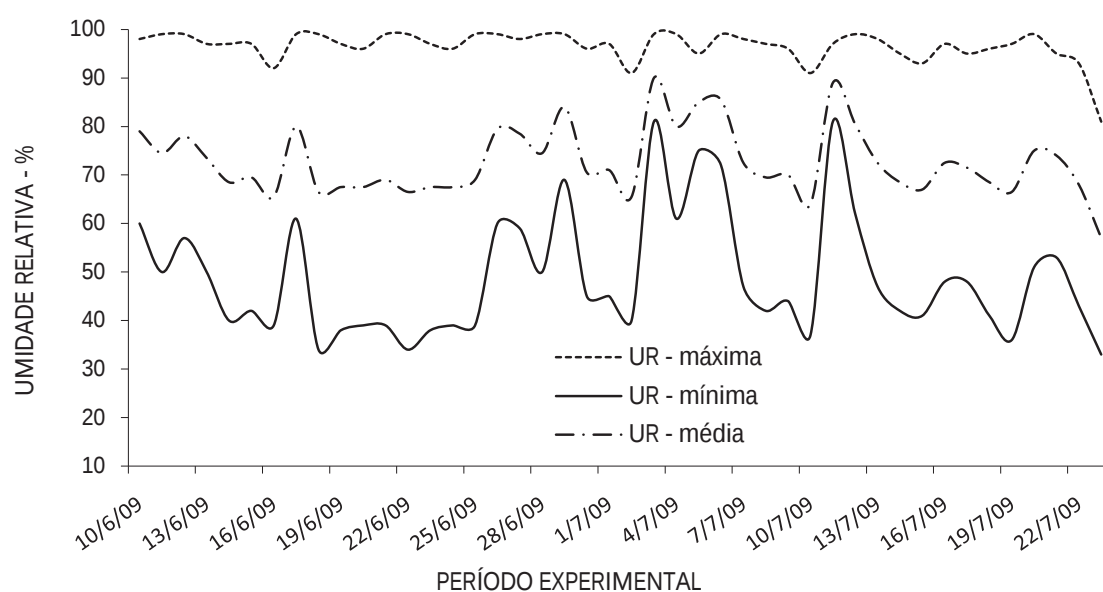


Figura 27. Umidade relativa máximas, mínimas e médias no período experimental.

A Figura 28 mostra a produção de massa fresca em função do número de fertirrigações e dos potenciais de água no solo. O maior potencial (P1) resultou em menores produções que os demais potenciais nos fracionamentos F1, F2 e F3. Apesar de ter recebido

maior lâmina, esta não favoreceu o desenvolvimento da cultura, uma vez que a água aplicada de forma localizada contribuiu para a lixiviação dos fertilizantes, percolando-os para regiões periféricas do sistema radicular, acompanhando o bulbo molhado, característico da irrigação localizada. Este potencial, porém, teve uma tendência de crescimento da produção em função do fracionamento da fertirrigação. Isto reforça a tese anterior, já que devido à lixiviação dos nutrientes, o maior fracionamento contribuiu para manter mais fertilizantes nas proximidades do sistema radicular, aumentando a produção.

O menor potencial (P3) teve maiores produções que os demais potenciais nos fracionamentos 1, 2 e 3. Apesar de ter recebido menor lâmina, a alface deste potencial beneficiou-se pela disponibilidade de nutrientes nas proximidades do sistema radicular, já que a lixiviação foi menos intensa que nos demais potenciais, contribuindo pelo melhor desempenho na produção. A aplicação de todos os nutrientes no início do plantio resultou na maior produção do experimento, vindo a decair com o aumento do fracionamento. De forma geral, o potencial P2 teve produção intermediária entre o P1 e P3. A média geral indica que o fracionamento da fertirrigação não implica em grandes variações de produção.

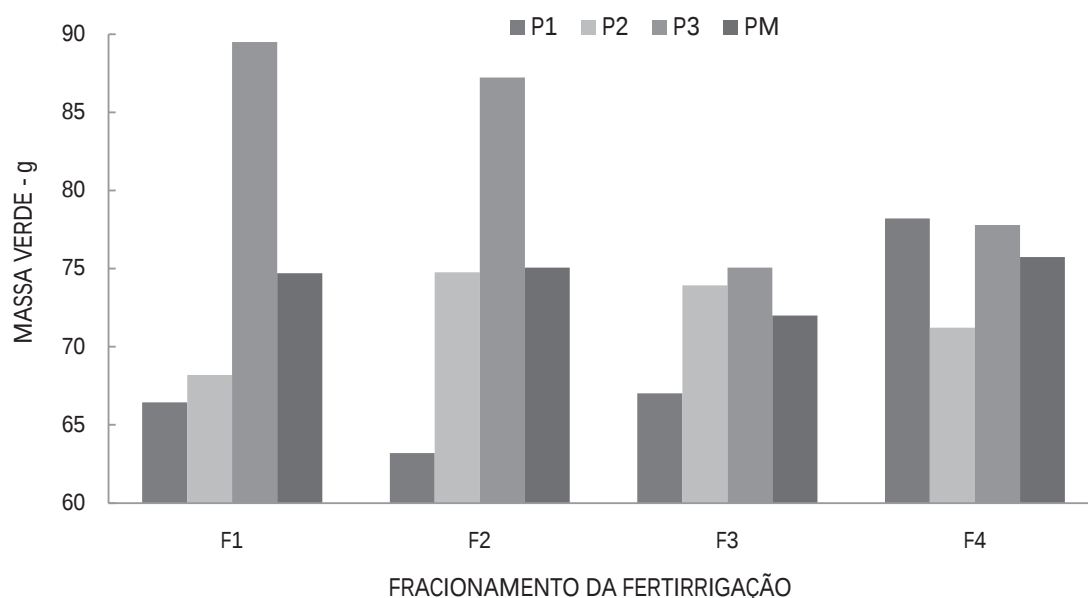


Figura 28. Massa verde da alface em função dos números de fertirrigações e dos potenciais de água no solo.

A Tabela 16 mostra à análise estatística para os dados de produção de massa fresca. Vê-se que fracionamentos maiores que três não apresentam diferenças estatísticas para nenhum potencial, sugerindo que o aumento do fracionamento de fertilizantes tende a estabilizar a produção, independente da lâmina a ser aplicada. Os dois menores potenciais apresentaram diferenças estatísticas entre o maior, nos dois primeiros fracionamentos.

As médias entre as fertirrigações tiveram valores crescentes do menor para o maior potencial, enquanto que a média entre os potenciais tiveram valores constantes com o aumento do fracionamento da fertirrigação.

Tabela 16. Produção de massa fresca considerando os números de fertirrigações e os potenciais de água no solo.

Potenciais - (kPa)	Número de fertirrigações				Média das fertirrigações
	1	2	3	4	
20	66,4381 aB	63,1873 aB	67,0101 aA	78,2019 aA	68,7093 a
30	68,1906 aB	74,7549 aAB	73,9282 aA	71,2222 aA	72,0240 a
40	89,4881 aA	87,2291 aA	75,0555 aA	77,7946 aA	82,3918 a
Média dos potenciais	74,7056 A	75,0571 A	71,9979 A	75,7396 A	
Média geral da produção – 74.375 g					
Coeficiente de variação – 9.17705 %					
Diferença mínima significativa entre as fertirrigações – 14.8112 g					
Diferença mínima significativa entre os potenciais – 19.3093 g					

Média seguida por letras distintas, maiúsculas e minúsculas na mesma linha ou coluna, difere entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A Tabela 17 diz respeito à análise estatística da variação da produção em relação à aplicação em uma única dosagem. Tomou-se como referência a aplicação de todo o fertilizante em uma única parcela, comparando as demais aplicações com esta para a determinação da figura.

Houve diferenças estatísticas consideráveis tanto em função dos potenciais como em função dos fracionamentos. A média foi negativa para o menor potencial, bem como para 3 fracionamentos. Pela média geral, houve um decréscimo da produção, indicando que fracionamento da aplicação de fertilizantes em sistemas de irrigação localizada, pode levar os prejuízos.

Observa-se que no potencial de -20 kPa, a variação máxima da produção foi de aproximadamente 15% positiva para 4 fertirrigações. Este potencial apresentou de forma geral variações positivas. No potencial de -30 kPa a variação máxima foi de aproximadamente 9% positiva para 2 fertirrigações, vindo a diminuir com o aumento do fracionamento. Para -40 kPa, a máxima variação foi de 19% negativa em 3 fertirrigações. De forma geral este potencial tendeu a valores negativos, com o aumento do fracionamento.

Tabela 17. Análise estatística da variação da produção de massa verde considerando os números de fertirrigações e os potenciais de água no solo.

Potenciais - (kPa)	Número de fertirrigações			Média das fertirrigações
	2	3	4	
20	-5,1446 bB	0,8536 bB	15,0428 aA	2,6879 a
30	8,7810 aA	7,7609 aA	4,2564 aB	5,1996 a
40	-2,5896 bB	-19,2291 bC	-15,0312 bC	-9,2124 b
Média das fertirrigações	0,3489 A	-3,5382 A	1,4227 A	
Média geral da variação – -0,58885 %				
Coeficiente de variação – 27,153 %				
Diferença mínima significativa entre as fases – 6,4222 g				
Diferença mínima significativa entre os solos – 6,4222 g				

Média seguida por letras distintas, maiúsculas e minúsculas na mesma linha ou coluna, difere entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

4.5 Experimento 5

Analisou-se neste experimento a produção da alface crespa x potencial de água no solo x classe textural de solo.

As temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas internas foram registradas diariamente por um termômetro de máxima e mínima e por um termo-higrômetro digital de máxima e mínima, respectivamente (Fig. 29 e 30).

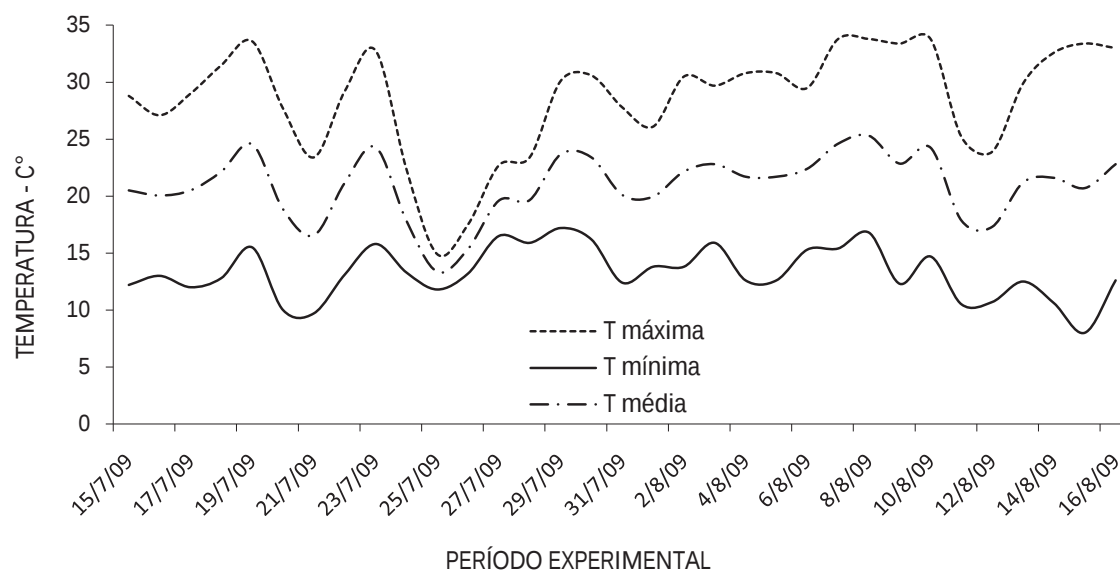


Figura 29. Temperaturas máximas, mínimas e médias no período experimental.

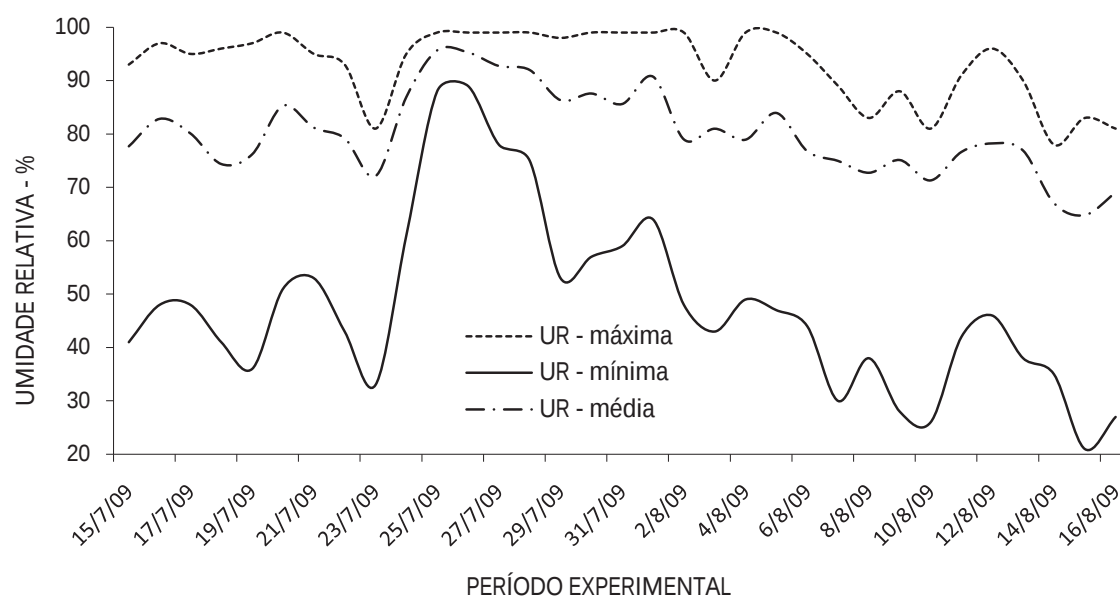


Figura 30. Umidade relativa máximas, mínimas e médias no período experimental.

A Figura 31 mostra a porosidade livre de água em função dos potenciais matriciais. O solo 1 apresentaram maior volume de poros livres de água (40,50 %), seguido do 2 (37,05 %) e 3 (27,28 %), para o potencial de -50 kPa. O ponto de máxima das curvas localiza-se próximo ao potencial de -35 kPa. Algumas abordagens teóricas referem-se ao potencial capacidade de campo como sendo de -30 kPa, talvez pela máxima aeração do

solo neste potencial, quando toda a água gravitacional já tenha percolado. Assim, fisicamente ter-se-ia maior desenvolvimento dos sistemas radiculares das culturas em solos mais arados, favorecendo a produtividade. Porém, fisiologicamente, as culturas, de maneira geral, se desenvolvem melhor em potenciais maiores, sendo questionado o potencial de -30 kPa e hoje adota-se potenciais maiores para a umidade capacidade de campo dos solos brasileiros.

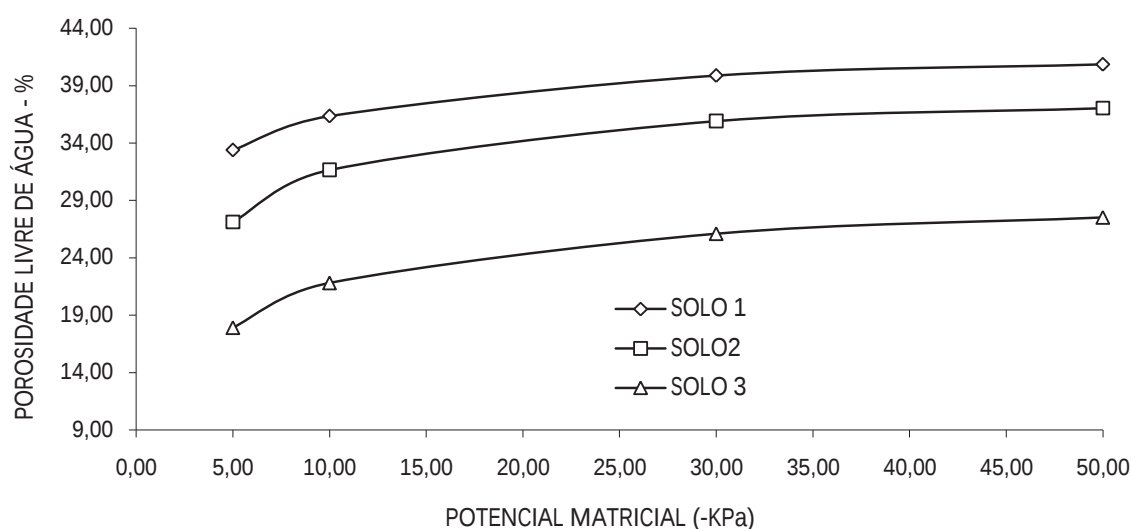


Figura 31. Porosidade livre de água para os três tipos de solos em função dos potenciais matriciais.

A Figura 32 mostra a soma da evaporação dos três tipos de solos, em cada tratamento, ao longo de 10 dias, aferidos pela pesagem dos vasos. É observado que, para uma mesma umidade (27%), o solo 1 apresenta maior evaporação, seguido do 2 e 3, respectivamente. Como o potencial matricial dos solos mais arenosos são maiores, para uma dada umidade, possuem menos energia para reter a água em sua matriz, desprendendo-a mais facilmente para a atmosfera.

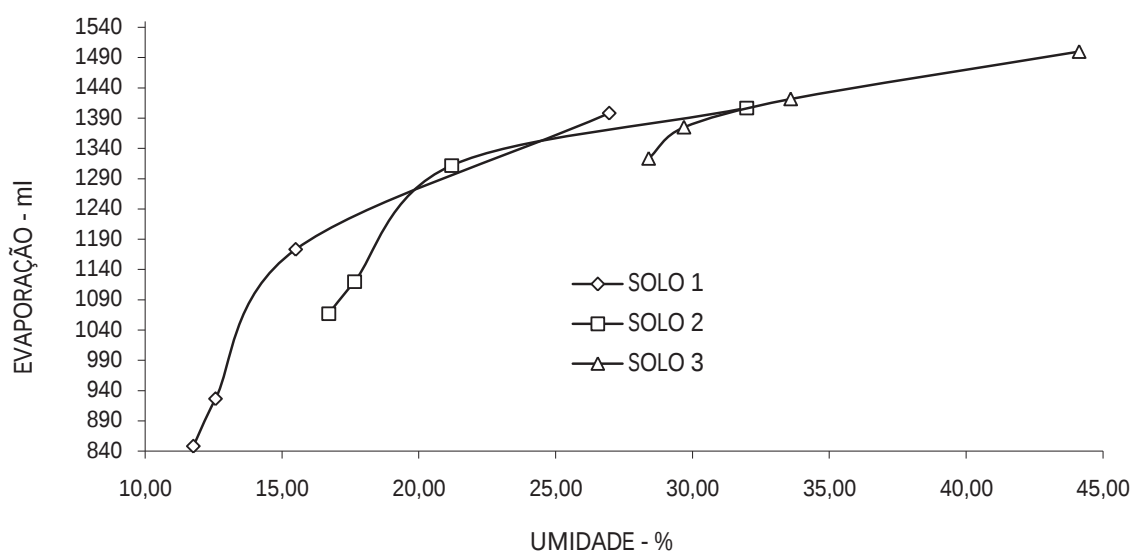


Figura 32. Soma da evaporação nos solos, considerando as umidades de cada tratamento, ao longo de 10 dias.

Na Figura 33, observa-se a evaporação dos solos em função dos potenciais matriciais. Em todos os potenciais, o solo 3 evaporou mais, seguido do 2 e 1, respectivamente. Apesar dos solos mais argilosos reterem mais água, também evapora mais, justamente por conterem mais moléculas de água na superfície do solo, em contato com a atmosfera.

A soma da evaporação dos quatro tratamentos de potenciais foi de 1092 ml para o solo 1, 1226 ml para o 2 e 1405 ml para o 3. Assim, de forma geral, os solos argilosos evaporam mais em um mesmo potencial, devido à sua maior capacidade de reter água por entre os poros, ficando a superfície do solo coberto com maior quantidade de moléculas de água, que são facilmente retiradas pela ação atmosférica. Há uma tendência de estabilidade dos valores da evaporação com a diminuição do potencial matricial.

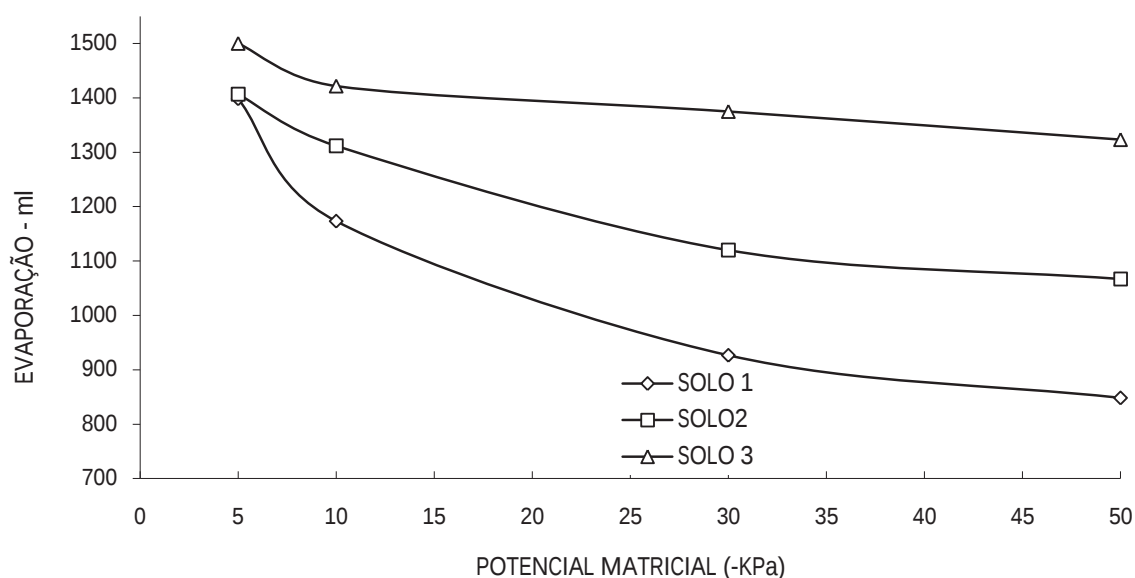


Figura 33. Soma da evaporação nos solos, considerando os potenciais de cada tratamento, ao longo de 10 dias.

Na Figura 34 é observado a soma evapotranspiração da alface ao longo do experimento em função dos potenciais matriciais. Há uma semelhança com a Figura 35, observando que os solos de maior capacidade de retenção de água evaporam mais, favorecendo um maior desenvolvimento da cultura, aumentando a evapotranspiração.

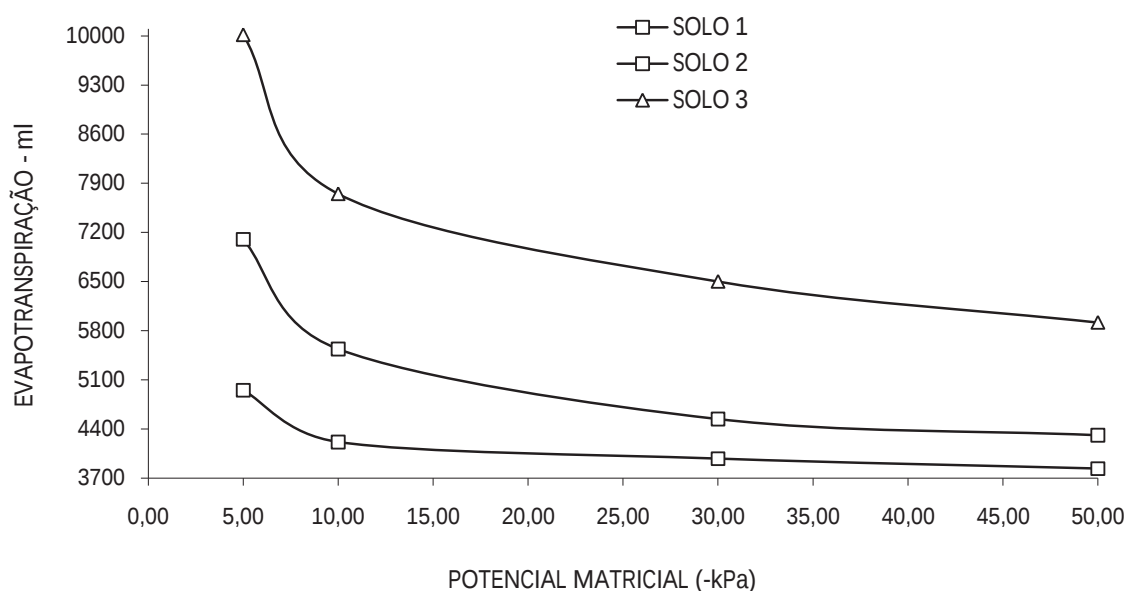


Figura 34. Soma da evapotranspiração nos solos, considerando os potenciais de cada tratamento, ao longo do período de produção.

De forma geral, houve uma redução na produção com a diminuição dos potenciais, como é observado pela Figura 35. O solo mais produtivo foi o 3, seguido do 2 e 1, em todos os potenciais. A maior produção no solo mais argiloso pode ser explicada, pelo maior volume de água disponível às plantas num dado potencial, favorecendo o desenvolvimento da cultura.

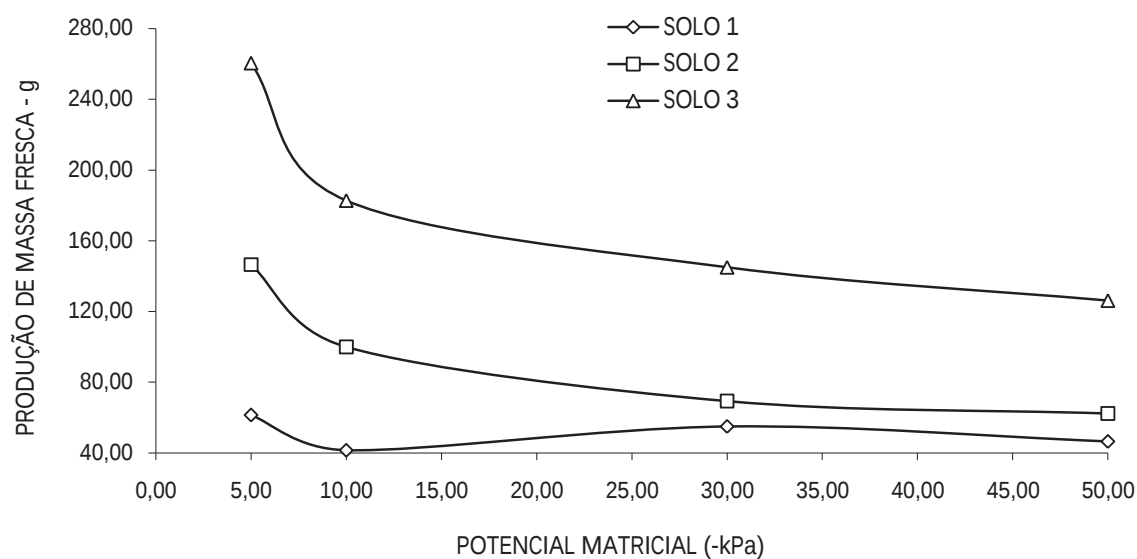


Figura 35. Produção de massa verde em função dos potenciais matriciais.

A Figura 36 mostra a evapotranspiração da cultura (E_{To}) e a de referência (E_{Tc}) ao longo do período experimental, considerando a média entre os solos no potencial de -10 kPa. É observado que há uma tendência de distanciamento dos valores da evapotranspiração da cultura em relação ao de referência à medida que a cultura se desenvolve.

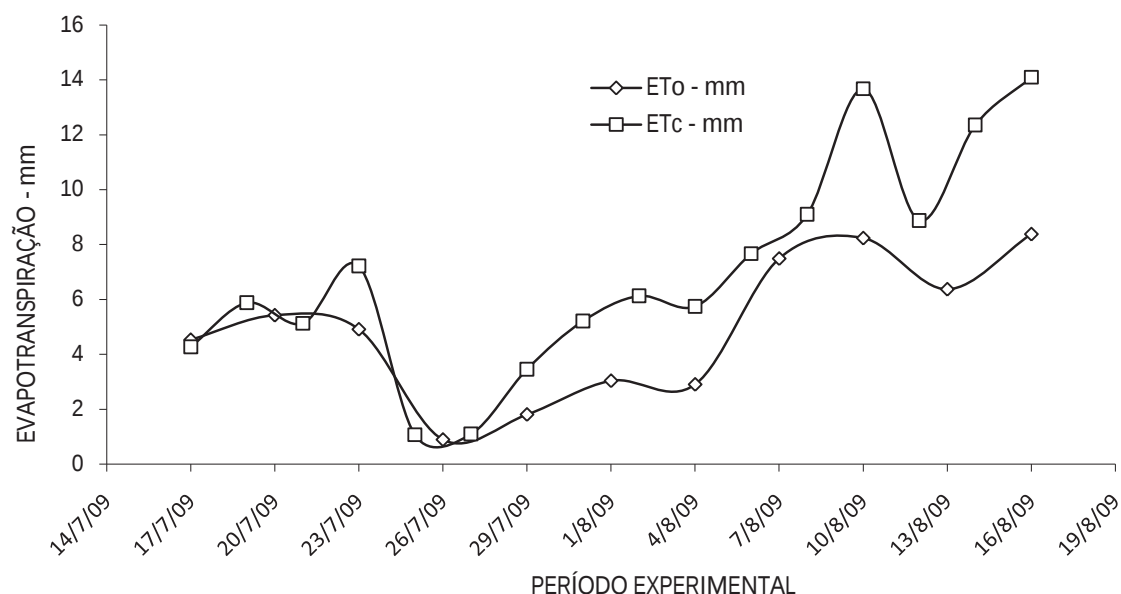


Figura 36. Evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ETo) ao longo do experimento.

Observa-se na Figura 37, a relação entre a evapotranspiração real (ETrc) e potencial (ETpc) da cultura com a disponibilidade de água no solo, para os três tipos de solo, bem como a média geral. A ETrc usada foi a dos potenciais de -10, -30 e -50 kPa, enquanto que a ETpc foi a do potencial de -5 kPa. A relação entre a ETrc e a ETpc pode ser entendido como a influencia que um solo causa à cultura quando não está nas condições potenciais de umidade. Essa influência é sentida nas restrições fisiológicas, pois mais energia a cultura terá que desprender para retirar água do solo, diminuindo a evapotranspiração.

A cultura no solo arenoso foi a que menos sofreu restrições em todos os potenciais. Isso é facilmente explicado pela pouca energia matricial que estes solos retêm água em sua matriz, podendo a cultura se desenvolver com menos energia. O solo mais argiloso foi o que mais restringiu o crescimento da alface, já que a mesma necessitou de mais energia para retirar água no solo. Há uma semelhança entre as curva dos três solos, tendendo a acentuar o declive entre 20 e 0 % de água disponível no solo. Um modelo logarítmico foi o que melhor se ajustou aos pontos da curva média.

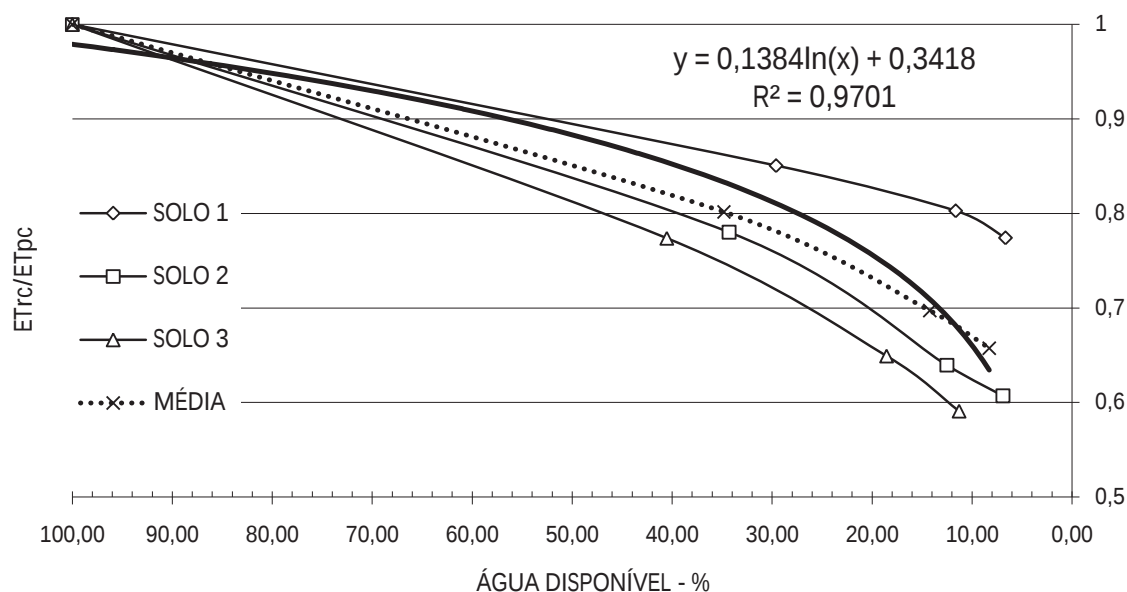


Figura 37. Relação entre a evapotranspiração real (ETrc) e potencial (ETpc) da cultura em função da disponibilidade de água no solo.

A Figura 38 mostra a relação entre a evapotranspiração real (ETrc) e potencial (ETpc) da cultura em função da disponibilidade de água no solo levando em consideração a curva gerada pelo modelo da Figura 37. Observa-se que a curva decresce consideravelmente entre 10 e 0 % de água no solo. Veihmeyer e Hendrickson (1950) propuseram um modelo entre a relação ETrc/ETpc no qual o valor permanece em 1,0 até 10 % de água no solo, vindo a cair abruptamente até o valor de 0,0 em 0 % de água disponível. Segundo os autores, há pouca inibição do crescimento da planta até que a umidade no solo diminuísse até próximo ao ponto de murcha permanente. A relação ETrc/ETpc serviu de parâmetro para definir o conceito de ponto de murcha permanente. Hoje se adota o modelo em que, até praticamente 35% do consumo da CAD pela cultura, não se observa redução da transpiração, vindo a sofrer restrições progressiva a partir deste valor.

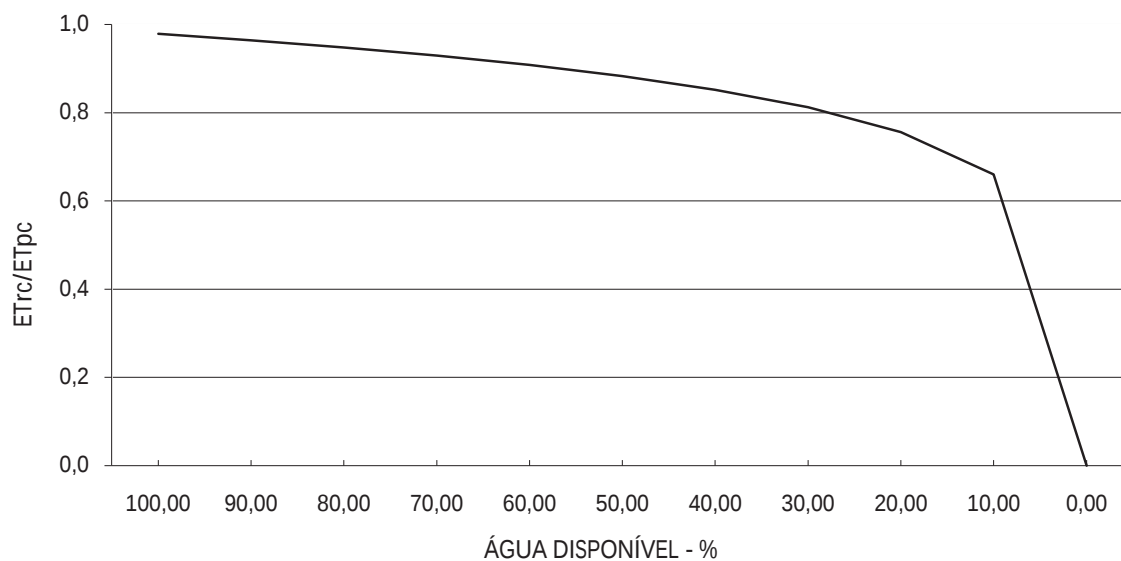


Figura 38. Relação entre a evapotranspiração real (ETr) e potencial (ETp) da cultura em função da disponibilidade de água no solo pelo modelo logarítmico.

4.6 Experimento 6

Neste experimento analisou-se o coeficiente de cultivo da alface crespa x potencial de água no solo x classe textural do solo.

As temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas internas foram registradas diariamente por um termômetro digital de máxima e mínima e por um termo-higrômetro digital de máxima e mínima, respectivamente (Fig. 39 e 40).

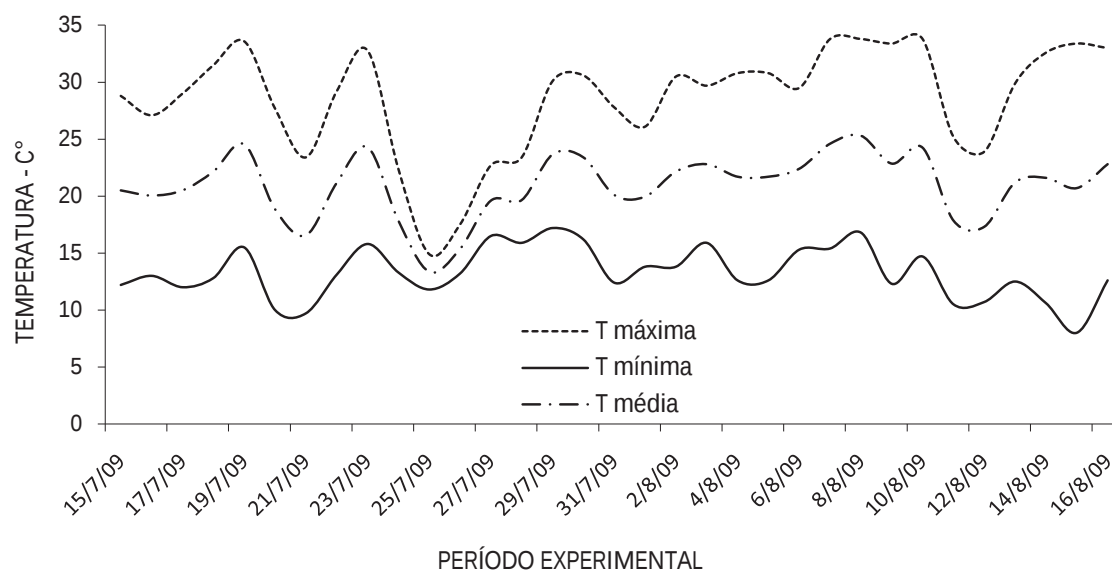


Figura 39. Temperaturas máximas, mínimas e médias no período experimental.

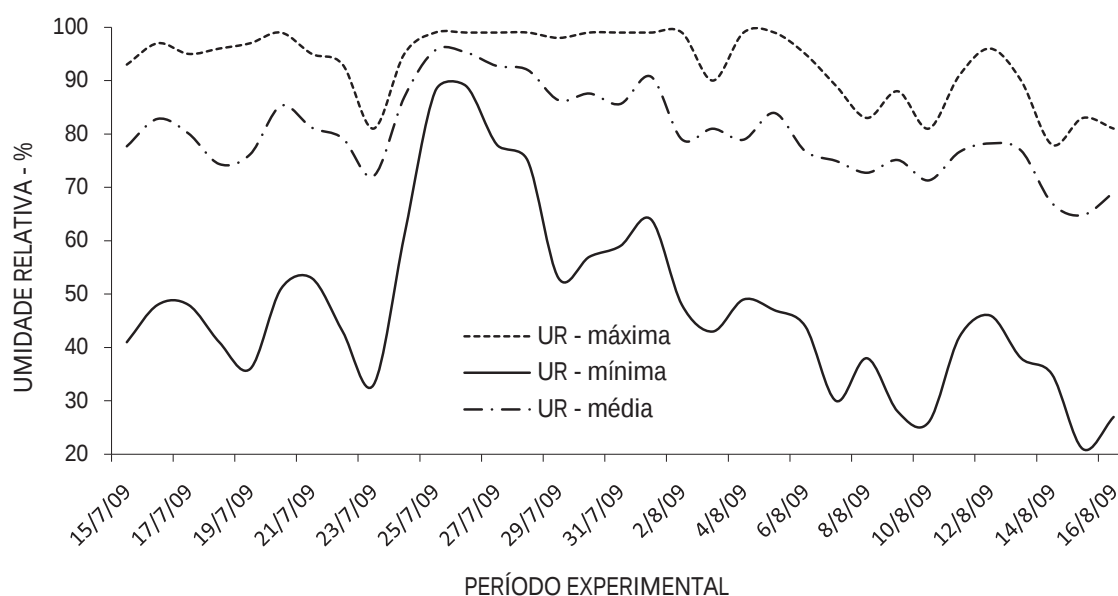


Figura 40. Umidades relativas máximas, mínimas e médias no período experimental.

Na Figura 41 observa-se a evapotranspiração da cultura considerando o potencial matricial máximo de água de -10 kPa e os três tipos de solo. É observado que há uma tendência uniforme da variação da evapotranspiração entre os solos ao longo do tempo. O

solo 3 apresentou maiores valores, seguidos do 2 e 1, respectivamente. Como a produção foi maior no solo 3, a evapotranspiração para este solo tendeu a valores maiores.

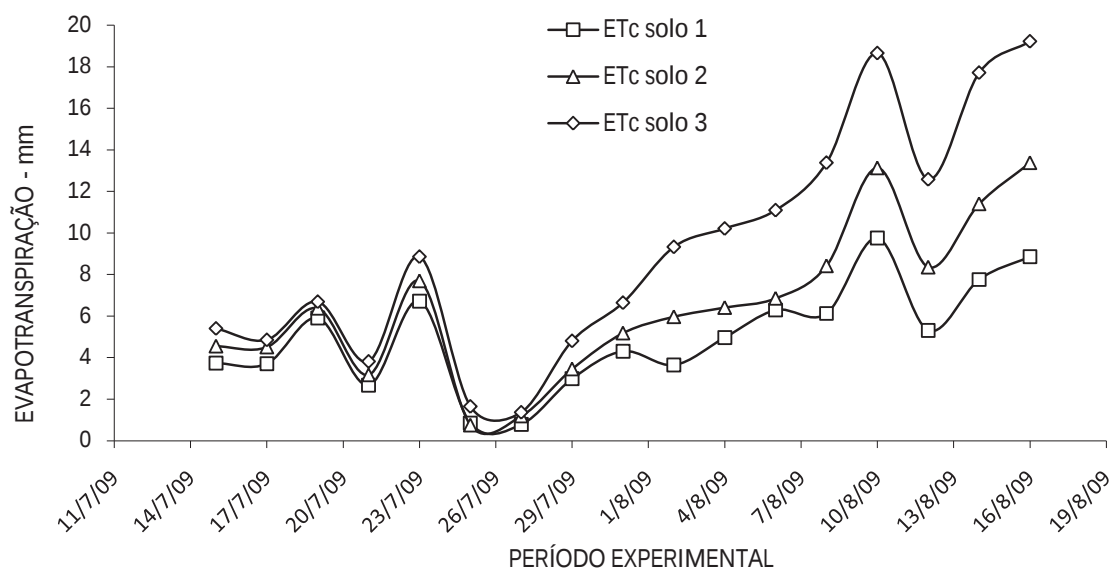


Figura 41. Evapotranspiração da cultura (ETc) para os três tipos de solo, considerando o potencial mínimo de água no solo de -10 kPa, ao longo do experimento.

A Figura 42 diz respeito à evapotranspiração da cultura e a de referência ao longo do período de cultivo, considerando a média dos três solos no potencial matricial de -10 kPa. É observada uma tendência de distanciamento dos valores da evapotranspiração da cultura em relação à de referência, a medida em que a cultura se desenvolve.

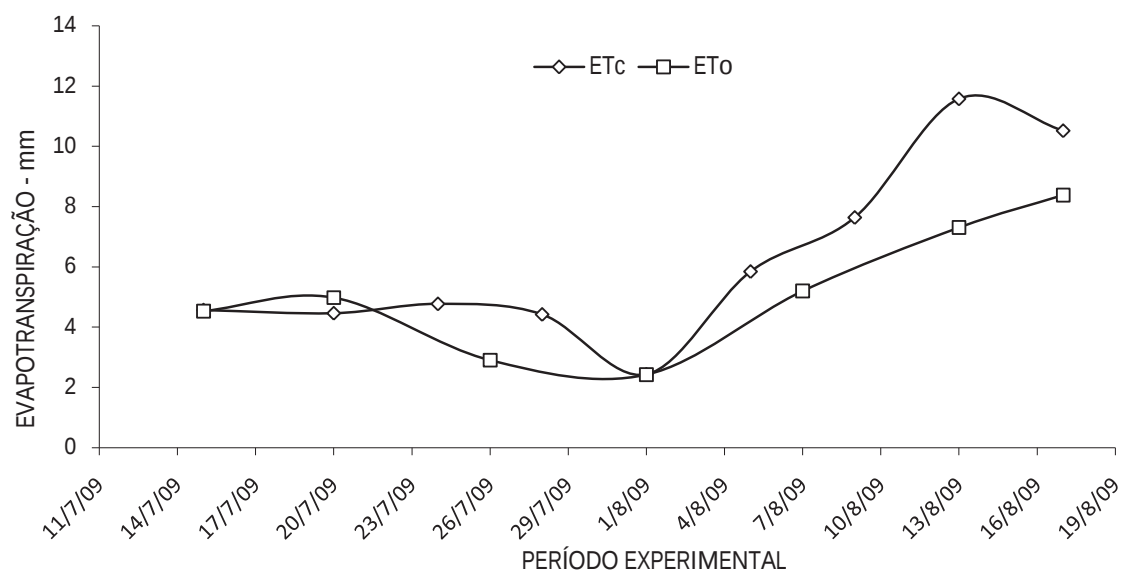
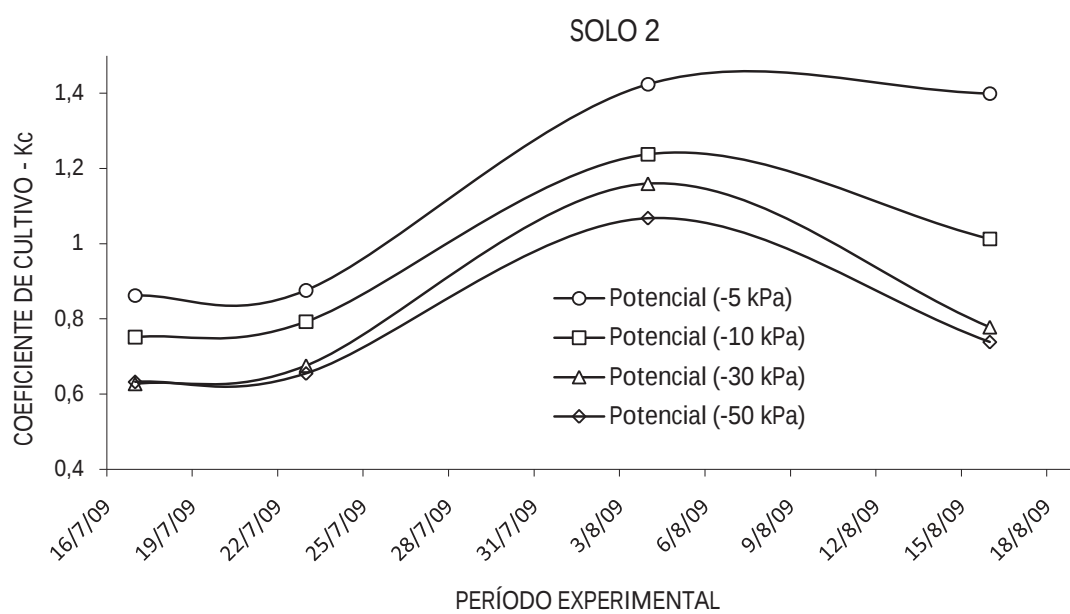
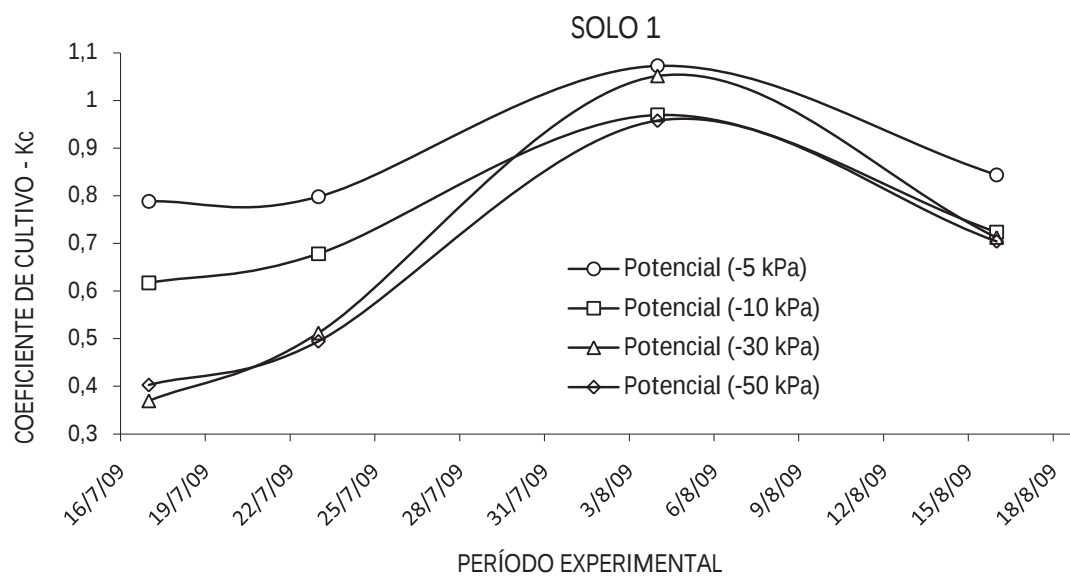


Figura 42. Evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) considerando a média dos três tipos de solo no potencial de -10 kPa, ao longo do experimento.

A Figura 43 apresenta o coeficiente de cultivo da alface, cultivada nos três tipos de solos individualmente, nos quatro potenciais matriciais, ao longo do experimento. De maneira geral, o maior potencial foi o que apresentou valores maiores de Kc, enquanto que o menor potencial apresentou valores menores. O valor máximo do Kc, no potencial de -5 kPa, foi de 1,07; 1,42 e 2,21, para os respectivos solos 1, 2 e 3.

Observa-se que o valor do Kc da alface atribuído pela FAO (0,70; 1,05 e 1,00) encontra semelhança para o potencial de -5 kPa no solo arenoso, -10 kPa no solo 2 e -50 kPa no solo 3. Com essa observação, vê-se que a grande discrepância nos valores de Kc encontrados por pesquisadores em relação ao da FAO, se deve a não especificação pela FAO do tipo de solo recomendado, bem como do potencial de água no solo a ser adotado.



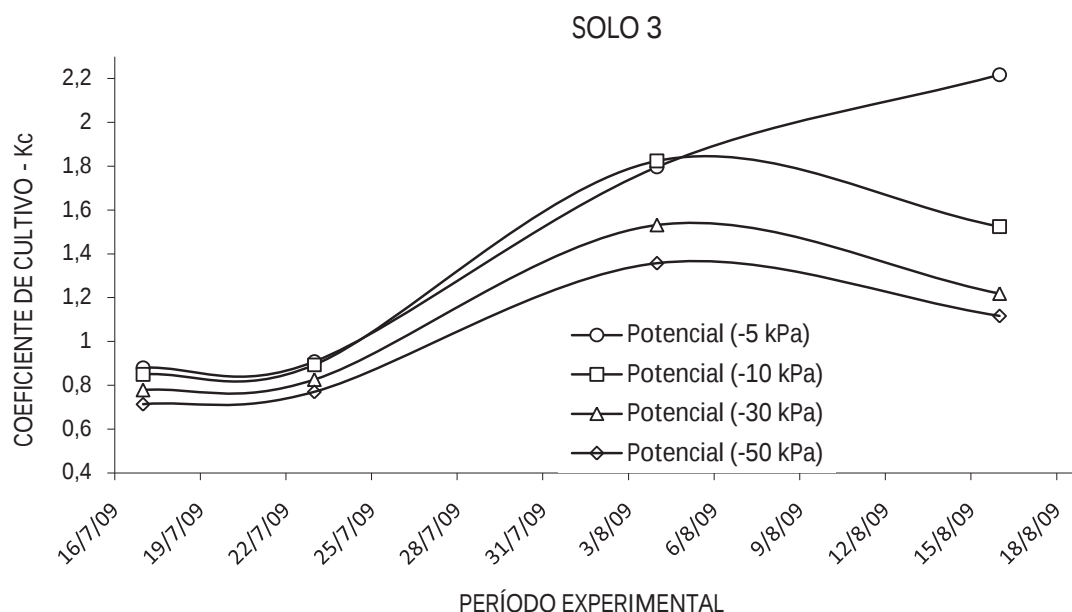


Figura 43. Coeficiente de cultivo da alface nos três tipos de solo, para os quatro potenciais matriciais, ao longo do experimento.

A Figura 44 mostra o coeficiente de cultivo da alface considerando a média dos três solos, nos quatro potenciais matriciais, ao longo do experimento. Os valores médios do Kc's são de 1,15; 0,99; 0,85 e 0,80 nos respectivos potenciais de -5; -10; -30 e -50 kPa. Nesta Figura, pode-se observar a variação dos Kc's entre os potenciais matriciais, destacando a importância em se especificar as condições de umidade do solo em que foi gerado um coeficiente de cultivo. A variação máxima foi de 43,75% entre os potenciais de -5 e -50 kPa.

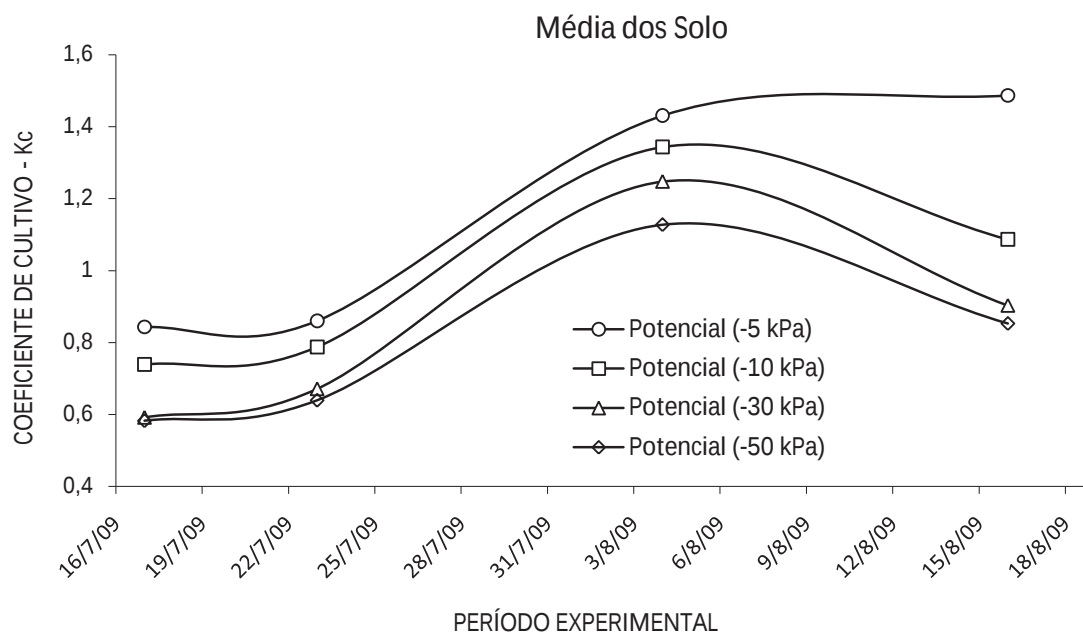


Figura 44. Coeficiente de cultivo da alface considerando a média dos solos, para os quatro potenciais matriciais, ao longo do experimento.

Como a FAO não padronizou o tipo de solo a ser adotado e nem a umidade a ser mantida nos mesmos, pode-se obter resultados muito discrepantes uns em relação a outros, porém variando a umidade, encontra-se valores de Kc's semelhantes ao proposto pela FAO (0,70; 1,00 e 0,95), independente do tipo de solo. A Figura 45 mostra os valores de Kc's considerando os três solos em umidades distintas.

Vê-se que para o solo 1, mais arenoso, encontra-se o potencial de -5 kPa como sendo o mais próximo daquele proposto pela FAO, enquanto que para o solo 2, -30 kPa e para o solo 3, -50 kPa.

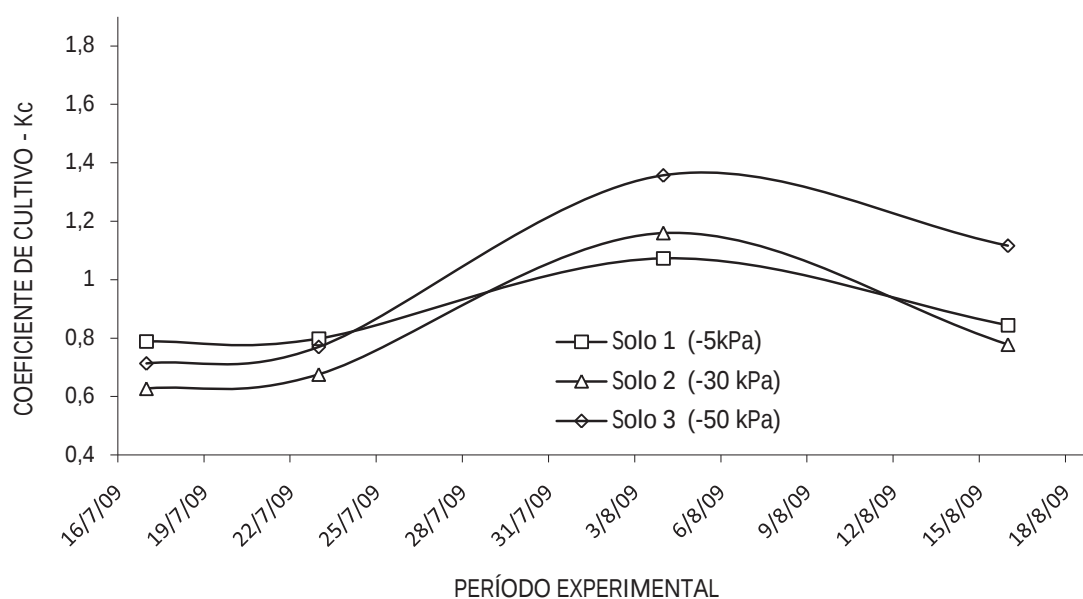


Figura 45. Coeficiente de cultivo da alface considerando os três tipos de solo, e diferentes potenciais, para que os valores sejam semelhantes ao da FAO.

Uma curva é apresentada na Figura 46, representando a variação da porcentagem de areia no solo em função da média do coeficiente de cultivo da alface para os três solos, conforme Figura 45. Para os solos em questão, uma variação de 70,35 % é observada entre o solo 3 e 1 e 34,18% entre o 3 e o 2, revelando a importância em se destacar o tipo de solo ao se referir num coeficiente de cultivo, e não somente ao local onde o coeficiente foi originado. A equação ajustou-se melhor num modelo exponencial, com um coeficiente de correlação de 99,5%, indicando a forte correlação entre as variáveis. A média geral dos K_c 's é de 0,989, com um desvio padrão de 0,2165.

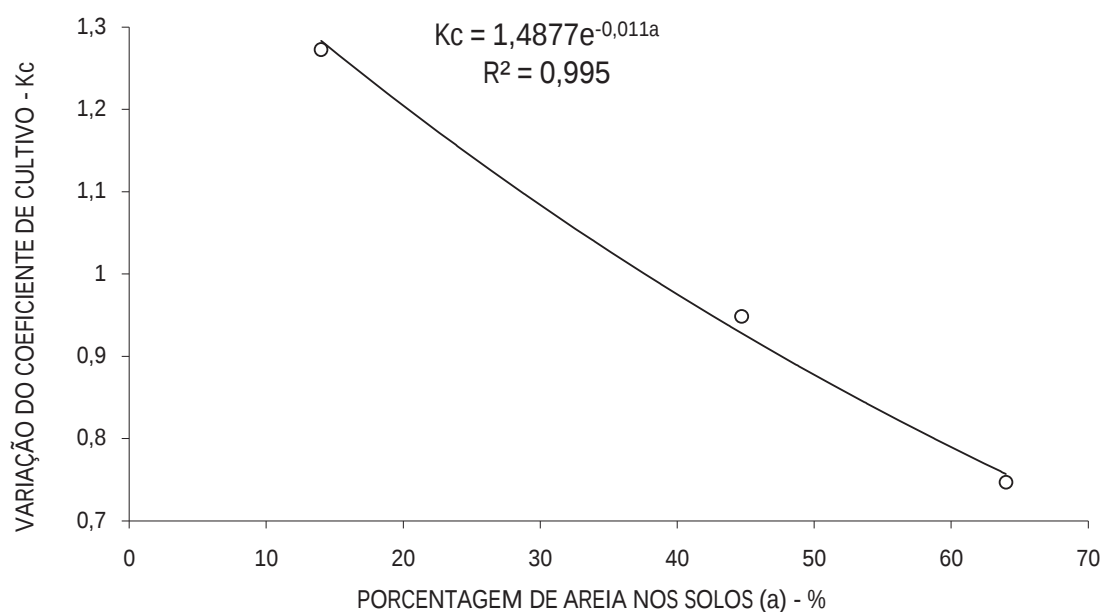


Figura 46. Variação da média do coeficiente de cultivo da alface dos três solos no potencial -10 kPa, em função da porcentagem de areia no solo.

A Figura 47 mostra o potencial ideal a ser mantido nos solos para se obter coeficiente de cultivo da alface análogo ao apresentado pela FAO, em função da porcentagem de areia dos solos. Vê-se que quanto mais arenoso é o solo, maior é o potencial ideal. O modelo sugere uma extrapolação, bastando conhecer o percentual de areia do solo para se obter coeficiente de cultivo da alface de forma padronizada.

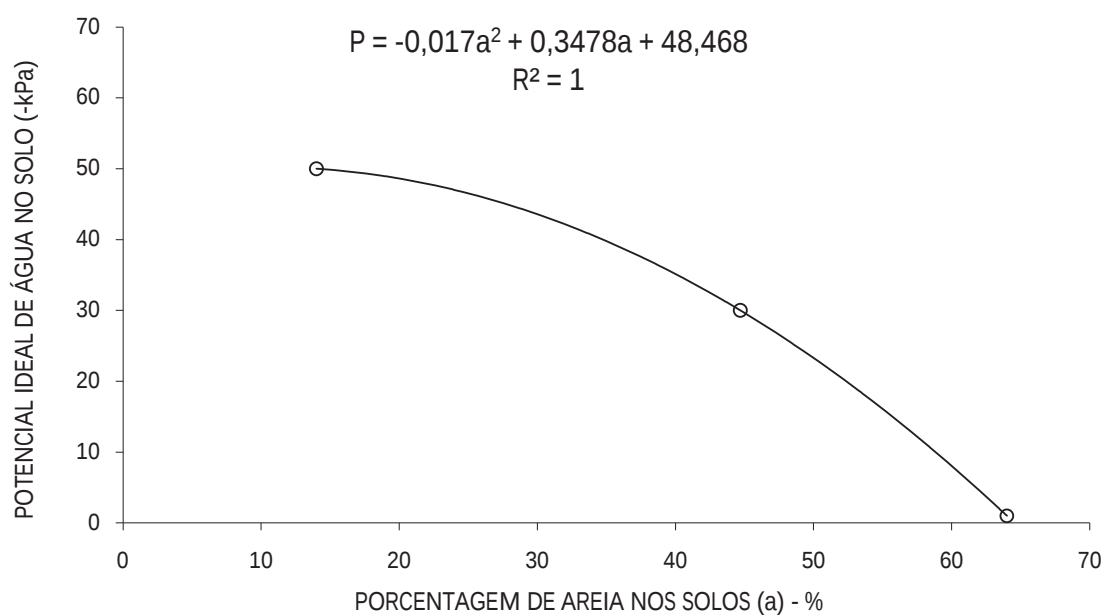


Figura 47. Potencial ideal de água no solo, em função da porcentagem de areia no solo.

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Experimento 1

As culturas do tratamento -5 kPa, foram as que mais evapotranspiraram, bem como foi o tratamento mais produtivo;

A alface Americana foi a que teve, em média, a maior produção, seguida das cultivares Mimosa, Crespa e Roxa;

A alface Americana, no potencial de -5 kPa, é a combinação mais produtiva do experimento e a alface Roxa no potencial de -22 kPa a combinação menos produtiva.

Experimento 2

Há uma tendência direta entre os valores da evaporação com os do armazenamento de água no solo;

O mapa de armazenamento de água no solo assemelha-se muito com o mapa da evaporação, pois as regiões de maiores incidências de energia, de maior evaporação, recebem maiores variações nos teores de água no solo, distanciando os valores de umidade do solo entre as irrigações;

Em média, as extremidades de cada linha apresentam maiores valores de massa fresca, evaporação e armazenamento de água no solo;

A grande maioria dos pontos amostrados, 71,66 %, tiveram maiores desempenhos das alface Crespa.

Experimento 3

As alfaces do tratamento L1 foram as que mais evapotranspiraram, bem como foi o tratamento mais produtivo;

O fracionamento da fertirrigação em duas parcelas apresentou melhor resultado na produção de massa fresca, não havendo diferença significativa na produção para parcelamentos maiores;

Foram observadas diferenças significativas apenas nas lâminas aplicadas, sugerindo que o volume de água aplicado no solo é um fator imprescindível para favorecer a cultura na absorção dos nutrientes dispostos no solo;

O tratamento L1 apresentou menor condutividade elétrica no extrato da solução dos vasos, sendo o único tratamento que diferiu estatisticamente dos demais;

Em todas as lâminas, o parcelamento F3 resultou em sistema radicular mais desenvolvido. O tratamento L1 apresentou em média maior desenvolvimento das raízes, seguido do L2 e L3.

Experimento 4

O maior potencial (-20 kPa) resultou em menores produções nos fracionamentos 1, 2 e 3 em relação aos demais potenciais. Apesar de ter recebido maior lâmina, esta não favoreceu o desenvolvimento da cultura;

O menor potencial (-40 kPa) teve maiores produções que os demais potenciais nos fracionamentos 1, 2 e 3. Apesar de ter recebido menor lâmina, a alface deste potencial beneficiou-se pela disponibilidade de nutrientes nas proximidades do sistema radicular, já que o fenômeno da lixiviação foi menos intensa que nos demais potenciais, contribuindo pelo melhor desempenho na produção. Neste potencial a máxima variação foi de 19% negativa em 3 fertirrigações.

Experimento 5

O solo argiloso apresentou maior porosidade, evaporação em função dos potenciais, evapotranspiração e produção de massa verde;

A porosidade livre de água atingiu uma constância nos valores a partir do potencial de -35 kPa;

A curva da relação ET_{rc}/ET_{pc} decresce consideravelmente entre a capacidade de 10 e 0 % de água no solo.

Experimento 6

O solo 1 apresentou maiores valores de evapotranspiração da cultura, seguidos do 2 e 1, respectivamente;

O maior potencial foi o que apresentou valores maiores de K_c , para os três tipos de solo, enquanto que o menor potencial apresentou valores menores;

Os valores médios do K_c 's são de 1,15; 0,99; 0,85 e 0,80 nos respectivos potenciais de -5; -10; -30 e -50 kPa, considerando a média dos três solos;

A média dos K_c 's são de 1,272; 0,948 e 0,747 para os respectivos solos, 3, 2 e 1;

Vê-se que para o solo 1, mais arenoso, encontra-se o potencial de -5 kPa como sendo o ideal na determinação do K_c da alface, enquanto que para o solo 2, -30 kPa e para o solo 3, -50 kPa;

Uma variação de 70,35 % é observada entre os valores do K_c dos solos argiloso e arenoso e 34,18% entre o argiloso e o médio, revelando a importância em se destacar o tipo de solo ao se referir num coeficiente de cultivo.

5 CONCLUSÕES

a) POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

O modelo polinomial indica que todas as cultivares de alface experimentadas têm produção máxima de massa fresca no potencial de -10 kPa.

b) FERTIRRIGAÇÃO

Para a produção da alface crespa em vasos, fracionamentos da fertirrigação em mais de duas parcelas não contribuem, em média, para o aumento da produção, porém para lâminas menores há acréscimos.

Para a produção da alface crespa em canteiros, fracionamentos da fertirrigação em mais de duas parcelas não contribuem, em média, para o aumento da produção, porém para potenciais maiores há acréscimos.

c) CLASSE TEXTURAL DOS SOLOS

Solos mais argilosos apresentaram maior produção de massa fresca da alface crespa, para um dado potencial, bem como permitiu maiores taxas de evapotranspiração e conseqüentemente maiores valores de K_c 's.

A alface crespa em solos mais argilosos sofreu maiores restrições na evapotranspiração, quando o solo não se encontrava em condições potenciais, ou seja, em potenciais menores.

d) VARIABILIDADE ESPACIAL

As maiores produções se deram nas regiões da estufa onde há maior incidência de evaporação e armazenamento de água entre as irrigações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Emissores para sistemas de irrigação localizada - avaliação das características operacionais**. PNBR 12:02-08-021, São Paulo, 1986, 7p.

ALBUQUERQUE, P. E. P; KLAR, A. E.; GOMIDE, R. L. Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função do índice de área foliar e da evaporação da água do tanque Classe A. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p.183-187, 1997.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A**. 1994. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

ANTUNES, C. L. **Fertirrigação nitrogenada por gotejamento e época de aplicação foliar de ácido giberélico (GA3) em alface americana (*Lactuca sativa* L.)**. 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ASSOULINE, S.; TESSIER, D.; BRUAND, A. A conceptual model of the soil water retention curve. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, p. 223-231, 1998.

BERGAMASCHI, H. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1992. 125 p.

BERNARDO, S. et al. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 596 p.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Properties of porous media affecting fluid flow. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, Reston, v. 92, p. 61-88, 1966.

BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, 1. The semi-variogram and punctual kriging. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 315-331, jun., 1980.

BURT, C. O.; CONNOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Califórnia Polytechnic State University, 1995. 295p.

CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1966. 60 p. (Boletim Técnico, 161).

CAMARGO, L. S. **As hortaliças e seu cultivo**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 252 p.

CARTER, M. R.; BALL, B. C. Soil porosity. In: CARTER, M.R. (ed.). **Soil sampling and methods of analysis**. Florida: Lewis Publishers, 1993. p. 581-588.

COSTA, E. F.; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 39, p. 63-68, 1986.

CULLEY, J. L. B. Density and compressibility. In: CARTER, M. R. (eds.). **Soil sampling and methods of analysis**. Florida: Lewis Publishers, 1993. p. 529-539.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2. ed. Rome: FAO Irrigation and Drainage - Paper 24, 1977. 179 p.

DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva característica de retenção de água do solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 92-102, dez., 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412 p.

ENTZ, T.; CHANG, C. Evaluation of soils sampling schemes for geoestatistical analyses: a case study for soil bulk density. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 71, n. 2, p. 165-176, may, 1991.

FIGUERÊDO, S. F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão de água no solo para a cultura do feijoeiro**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FRIZZONE, J. A. et al. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 52 p. (Boletim Técnico 2).

GONÇALVES, M. C. P. B. **Características hidrodinâmicas dos solos**: sua determinação e funções de pedo-transferência. 1994. Lisboa. 193 f. Tese (Doutorado)-Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1994.

GS+ - **Geostatistics for the environmental sciences**. Version 5.0.3 Beta. Michigan: Gamma Design Software, 2000. 1 CD-ROM.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: KOSLOWSKY, T. T. **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, v. 2. 1968.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328 p.

KASTANEK, F. J.; NIELSEN, D. R. Description of soil water characteristics using cubic spline interpolation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, p. 279-283, 2001.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta atmosfera**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408 p.

KLAR, A. E. **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

KLAR, A. E. et al. Distribuição da energia no interior de uma estufa plástica no período do inverno. **Irriga**, Botucatu, v. 11, p. 257-265, 2006. 1 CD-ROM.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226 p.

LEITE JÚNIOR, J. B. **Dessalinização do solo provocada pelo excesso do íon potássio em latossolo vermelho amarelo cultivado com alface americana (*Lactuca sativa* L.) irrigada sob ambiente protegido**. 2000. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

LISBÃO, R. S.; NAGAI, H.; TRANI, P. E. Alface. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo**. 5. ed. Campinas, 1990. p.11-12. (Boletim, 200).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 252 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1981. 607 p.

MAROTO-BORREGO, J. V. **Horticultura**: herbácea especial. 2. ed. Madri: Mundi-Prensa, 1986. 590 p.

MAROUELLI, W. A; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 4. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996. 72 p.

MEIRELLES, N. M.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p. 83-8, 1980.

MORGAN, K. T.; PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A. Comparison of laboratory - and field-derived soil water retention curves for a fine sand soil using tensiometric resistance and capacitance methods. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, n. 2, p. 153-157, 2001.

OLIVEIRA J. B.; JACOMINE P. K. T.; CAMARGO M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**: guia auxiliar para o seu reconhecimento. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PREVEDELO, C. L. **Física do solo**: com exercícios resolvidos. Curitiba: SAEAFS, 1996. 446 p.

PRUNTY, L.; CASEY, F. X. M. Soil water retention curve description using a flexible smooth function. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 1, p. 179-185, 2002.

RAIJ, B. VAN, et al. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100).

RAUSCHKOLB, R. S.; HORNSBY, A. G. **Nitrogen management in irrigated agriculture**. New York: Oxford University Press, 1994. 251p.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A. et al. **Methods of soil analysis**: physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling. Madison: ASASSSA, 1965. p. 128-152.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

REICHARDT, K. Capacidade de Campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 3, p. 211-216, set.-dez., 1988.

RODRIGUES, M. B.; KIEL, J. L. Volatilização da amônia após uréia em diferentes doses de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p. 37, 1986.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1983. 495 p.

ROSSI, C.; NIMMO, J. R. Modeling of soil water retention from saturation to oven dryness. **Water Resources Research**, Washington, v. 30, p.701-708, 1994.

SANTOS, R. F.; KLAR, A. E.; FRIGO, E. P. Crescimento da cultura de pimentão cultivado na estufa plástica e no campo sob diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 250-264, 2003.

SCAIFE, A.; BAR-YOSEF, B. **Nutrient and fertilizer management in field grown vegetables**. Basel: International Potash Institute, 1995. 104 p. (IPI. Bulletin, 13).

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA, M. A. et al. (Eds.). **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFLA; SBEA, 1998. p. 311-348.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.

SOUZA, C. M. P. **Alterações em elementos agrometeorológicos relacionados com a orientação geográfica de estufa de polietileno**. 2003. 84 f. (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SONNENBERG, P. E. **Olericultura especial**. 5. ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1985. v. 1, 187 p.

THREADGILL, E. D. Chemigation via sprinkler irrigation: current status and future development. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v.1 ,n. 1, p. 16-23, 1985.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 45-93, 1985.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VEIHMEYER, F. J., HENDRICKSON, A. H. Soil moisture in relation to plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 1, p. 285-304, 1950.

VILLA NOVA, N. A.; REICHARDT, K. Evaporação/evapotranspiração de um ecossistema e suas relações com o meio ambiente. **Engenharia Hidrológica**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 145-197, 1989.

VIVANCOS, A. D. **Fertirrigacion**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science**, New York, v. 3, p. 1-70, 1985.