

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

**USO DE DOIS ESPAÇAMENTOS ENTRE GOTEJADORES NA MESMA
LINHA LATERAL E SEUS EFEITOS SOBRE A FORMAÇÃO DO
BULBO MOLHADO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE
RABANETE (*Raphanus sativus* L.).**

LEONARDO PRETTO DE AZEVEDO

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

BOTUCATU – SP
Junho de 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**USO DE DOIS ESPAÇAMENTOS ENTRE GOTEJADORES NA MESMA
LINHA LATERAL E SEUS EFEITOS SOBRE A FORMAÇÃO DO
BULBO MOLHADO, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE
RABANETE (*Raphanus sativus* L.).**

LEONARDO PRETTO DE AZEVEDO

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Cury Saad

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

BOTUCATU – SP
Junho de 2008

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

A994u Azevedo, Leonardo Pretto de, 1978-
 Uso de dois espaçamentos entre gotejadores na mesma linha lateral e seus efeitos sobre a formação do bulbo molhado, produtividade e qualidade de rabanete (*Raphanus sativus* L.) / Leonardo Pretto de Azevedo. - Botucatu : [s.n.], 2008.
 ix, 65 f. : il. color., gráfs, tabs.

 Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2008
 Orientador: João Carlos Cury Saad
 Inclui bibliografia.

 1. Irrigação por gotejamento. 2. Rabanete. 3. Irrigação agrícola. 4. Espaçamento. I. Saad, João Carlos Cury. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

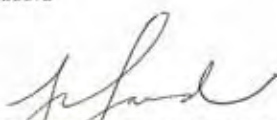
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "USO DE DOIS ESPAÇAMENTOS ENTRE GOTEJADORES NA MESMA
LINHA LATERAL E SEUS EFEITOS SOBRE O BULBO MOLHADO,
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE RABANETE (*Raphanus sativus* L.)

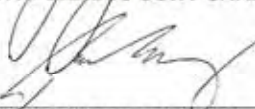
ALUNO: LEONARDO PRETTO DE AZEVEDO

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD

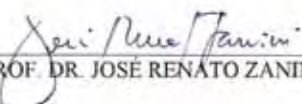
Aprovado pela Comissão Examinadora



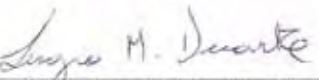
PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



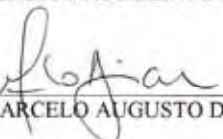
PROF. DR. RAÍMUNDO LEITE CRUZ



PROF. DR. JOSÉ RENATO ZANINI



PROF. DR. SÉRGIO NASCIMENTO DUARTE



PROF. DR. MARCELO AUGUSTO DE AGUIAR E SILVA

Data da Realização: 27 de junho de 2008.

"O homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou tv. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar do calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser. Que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver. O mundo na tv é lindo, mas serve para pouca coisa. É preciso questionar o que se aprendeu. É preciso ir tocá-lo."

Amyr Klink

Aos meus pais Delias e Iliane, minha avó Irene e aos meus irmãos Daniela e Marcus Vinícius, que são o que eu tenho de mais importante na vida. Em cada caminho escolhido, tantos outros são deixados pra trás. Estudando longe de casa, tive de abdicar do direito de estar dia-a-dia com vocês, mas só fisicamente. Em mim, não nos separamos nem um minuto, e todos os meus passos foram para vocês. Obrigado por existirem, e por serem a minha Família!

A Deus, que sempre esteve presente em minha vida, e que tem me dado provas cada vez mais claras de sua existência.

Ofereço,

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e Professor João Carlos Cury Saad, pela orientação e por estar ao meu lado durante tanto tempo, sempre com muita paciência e atenção. Mais que um orientador, procurei uma pessoa em quem pudesse me espelhar, profissionalmente e pessoalmente. Encontrei serenidade, competência e caráter.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, por acreditar em nosso projeto e pela concessão da bolsa de estudos.

À Sakata Seed Sudamerica LTDA, pela doação das sementes utilizadas na pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural que me auxiliaram durante a pesquisa, não apenas pelos serviços prestados, mas pela convivência e amizade. Meus sinceros agradecimentos a todos, em especial a Gilberto Winckler, Israel, Sílvio e Rita.

Aos os funcionários e estagiários da Fazenda Experimental São Manuel, em especial a Nilton, Geraldo, Zanella e Robson, pela maneira com que me receberam e por terem me auxiliado em todas as fases da pesquisa.

Aos funcionários da biblioteca e seção de pós-graduação, pela atenção demonstrada quando necessário.

A todos os Professores que de alguma maneira contribuíram para minha formação, nas disciplinas ministradas, na convivência e nas experiências transmitidas. Em especial aos professores Raimundo Leite Cruz, Antônio de Pádua Sousa, Carlos Antônio Gamero e Romy Goto, pela amizade, confiança e respeito com que sempre me trataram.

Ao engenheiro agrônomo Luiz Antonio de Andrade, por toda ajuda durante a elaboração da tese, sem o qual seria impossível a realização deste trabalho.

Ao Professor e amigo Eduardo Luiz de Oliveira, um exemplo de profissional e principal incentivador para que eu iniciasse a carreira acadêmica. Ofereceu-me a primeira oportunidade, ainda na graduação, e foi fundamental para meu ingresso no mestrado. Muito obrigado por todos os conselhos, atenção e compreensão que sempre teve comigo.

À minha namorada Ana Flávia Locatelli, por estar sempre ao meu lado e por ser meu porto seguro. Por todos os momentos de amor, amizade e companheirismo que já passamos juntos. E pelos momentos que ainda virão. *“Só enquanto eu respirar...”*

Aos amigos de república, Fábio Catulé, Kairo Henrique, Jonas Salvador, Mariana Manson e Rodrigo Carvalhais, por me mostrarem que uma república é mais que um lugar onde se divide um teto. É uma segunda família, onde se divide experiências de vida, respeito e amizade. Serão meus eternos irmãos.

Aos amigos da Banda Frei Caneca, Daniel, Christian, Renato, Guilherme, Danilo e Bruno. Começou como uma brincadeira e tomou proporções inimagináveis. Vocês participaram de alguns dos melhores momentos que já vivi e tenho muito orgulho por ter passado tudo isso ao lado de vocês. Será inesquecível.

Aos amigos de Botucatu, especialmente para Rodrigo Barbosa, Marcelo Aguiar, Juliano Hoffmann, Amanda Cristobal e República Sofadinhas. Sem vocês, seria muito mais difícil. Obrigado por terem me acompanhado em todos estes anos.

Aos amigos de Guarulhos, em especial ao Érico e Fabrício Brunhari, Fábio Romano, Paulo Futami, Fernanda Turri, Ana Helena e Fernão Porto. Aos amigos de longe, Marcelo Passos, Priscilla Rocha, Débora Trevisan e Thaís Borges. Vocês provaram que a distância é incapaz de mudar uma amizade de verdade.

Ao amigo José Mariano dos Santos Valente, pela amizade e carinho que sempre demonstrou a mim e a todos de minha família.

E a todas as pessoas não citadas que de alguma maneira contribuíram para minha formação e realização deste projeto.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	03
3 INTRODUÇÃO.....	04
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	06
4.1 Água no mundo.....	06
4.2 Irrigação e a escassez de alimentos.....	08
4.3 A escolha do sistema de irrigação.....	09
4.3.1 Sistema de irrigação por gotejamento.....	11
4.3.2 Perda de carga em linhas laterais na irrigação por gotejamento.....	12
4.3.3 Espaçamento entre emissores e a sobreposição de bulbos úmidos.....	14
4.4 A cultura de rabanete.....	17
4.4.1 Características gerais.....	17
4.4.2 Efeitos da irrigação na produtividade e qualidade de rabanete.....	17
4.4.3 Parâmetros de qualidade para frutos e hortaliças.....	19
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
5.1 Área experimental.....	22
5.2 Delineamento estatístico.....	23
5.3 Sistema de irrigação.....	25
5.3.1 Manejo da irrigação.....	30
5.3.2 Cálculo do espaçamento entre emissores na linha lateral.....	32
5.3.3 Caracterização dos bulbos de irrigação.....	37
5.4 Condução da cultura.....	39
5.5 Parâmetros avaliados.....	41
5.5.1 Parâmetros físicos.....	41
5.5.2 Parâmetros químicos e físico-químicos.....	42
5.5.3 Análise dos bulbos de irrigação.....	43
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44

6.1 Bulbos de irrigação.....	44
6.2 Avaliação I: comparação entre inícios e finais de linha lateral.....	53
6.2.1 Parâmetros físicos.....	53
6.2.2 Parâmetros químicos e físico-químicos.....	54
6.3 Avaliação II: comparação entre linhas laterais (<i>Situações</i>).....	56
6.3.1 Parâmetros físicos.....	56
6.3.2 Parâmetros químicos e físico-químicos	57
7 CONCLUSÕES	59
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi comparar linhas laterais convencionais de irrigação por gotejamento com espaçamento único entre gotejadores em relação a laterais compostas por dois segmentos, cada segmento utilizando espaçamento entre emissores diferente, utilizando como indicadores os parâmetros físicos, químicos e físico-químicos da cultura de rabanete e a formação dos bulbos molhados no solo. Linhas laterais convencionais com espaçamento entre emissores de 20 cm foram comparadas às linhas laterais propostas tendo espaçamento entre emissores de 24 cm no segmento inicial e espaçamento de 20 cm no segmento final; linhas laterais convencionais com espaçamento entre emissores de 30 cm foram comparadas às linhas laterais propostas, com espaçamento entre emissores de 36 cm no segmento inicial e espaçamento de 30 cm no segmento final. Em todas as linhas, utilizou-se pressão de 100 kPa no segmento inicial e 70 kPa no segmento final, de modo que as vazões por metro de linha lateral foram as mesmas em todos os tratamentos.

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no município de São Manuel-SP, e pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu-SP.

Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, em seis tratamentos e quatro repetições, sendo que os tratamentos simularam os segmentos iniciais e finais de cada linha lateral avaliada.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para a maioria dos parâmetros avaliados, concluindo-se que diferentes espaçamentos entre gotejadores na mesma linha lateral podem ser utilizados para aumentar seu comprimento, sem diminuição de produtividade e qualidade da cultura.

Palavras-chave: irrigação por gotejamento, espaçamento entre emissores, perda de carga.

USE OF TWO DRIPPERS SPACING IN THE SAME LATERAL LINE AND THEIRS EFFECTS ON THE WETTED BULB FORMATION, YIELD AND QUALITY OF RADISH (*Raphanus sativus* L.). Botucatu, 2008. 65f. Thesis (Doctor Degree in Agronomy/ Irrigation and Drainage) – Agronomical Sciences College, Sao Paulo State University.

Author: Leonardo Pretto de Azevedo

Adviser: João Carlos Cury Saad

2 SUMMARY

The aim of the work was to compare conventional drip lateral lines with lateral lines composed by two sections, with a different emitter spacing in each section, evaluating the generated wetted bulb and the physical, chemical and physicochemical parameters of the radish crop. Conventional drip lateral lines with 20 cm emitter spacing were compared to proposed drip lines, with 24 emitter spacing in the initial section and 20 cm emitter spacing in the final section; conventional drip lateral lines with 30 cm emitter spacing were compared to proposed drip lines, with 36 emitter spacing in the initial section and 30 cm emitter spacing in the final section. It were used head pressure of 100 kPa in the initial section and 70 kPa in the final section of all drip lateral lines, keeping the same unit discharge per meter of the lateral line in all the treatments.

The experiment was carried out in a greenhouse of the Sao Manuel Experimental Farm, located at Sao Manuel, SP

The experimental design was entirely randomized, with six treatments and four replications, to simulate the initial and final sections of all drip lateral lines evaluated.

Results showed no difference among treatments for the most of the evaluated variables. So it is possible to conclude that the use of different spacing between emitters in the same lateral line can be used to increase the line length without decrease the yield and quality of the crop.

Keywords: drip irrigation, emitter spacing, head loss.

3 INTRODUÇÃO

A expansão demográfica, a elevação dos índices de poluição, o manejo inadequado de solos e florestas, e a contaminação de rios e lençóis freáticos têm causado sérios danos à natureza, diminuindo a disponibilidade de água doce disponível para utilização direta.

O aumento da demanda por alimentos vem acompanhado do aumento na demanda por água e faz surgir um problema de solução complexa: como suprir a necessidade desses bens na medida em que o segundo é responsável pela produção do primeiro?

A agricultura irrigada tem sido muitas vezes apontada como a grande causadora da escassez de água. Em nível global, estima-se que seja responsável pelo consumo de 72% dos recursos hídricos disponíveis. Por outro lado, o aumento das áreas irrigadas pode ser uma das melhores alternativas para aumento da produção de alimentos, baseado nos altos índices de produtividade de áreas irrigadas comparadas às regiões desprovidas de tal tecnologia. Torna-se imprescindível, portanto, a adoção de técnicas de uso racional de água na agricultura para que o aumento na produção de alimentos seja realizado em bases sustentáveis.

Nesse sentido, uma das maneiras de se promover o aumento da área irrigada de forma sustentável é optar, sempre que técnica e economicamente viável, pela

implantação de sistemas de irrigação de baixo consumo de água e energia, como os sistemas de irrigação por gotejamento.

Nesses sistemas, o dimensionamento da linha lateral é função da variação de pressão ou de vazão permitida. A variação entre o ponto de maior e de menor vazão não deve ultrapassar 10% para que se obtenha valores elevados de uniformidade de aplicação de água no solo. Uma alternativa para diminuir os efeitos da perda de carga na linha lateral e dimensionar sistemas com linhas mais longas é a utilização de gotejadores auto-compensados, emissores que trabalham com vazão constante para uma faixa bem ampla de pressão. No entanto, o custo de aquisição de sistemas de irrigação com gotejadores auto-compensados é superior ao custo de sistemas com gotejadores convencionais, fazendo com que muitos agricultores optem pela diminuição dos custos em detrimento dos benefícios operacionais que os auto-compensados apresentam.

Portanto, é importante o desenvolvimento de novas técnicas de utilização de gotejadores convencionais para elevar a uniformidade de aplicação de água no solo a baixo custo.

A hipótese de pesquisa do presente trabalho é de que é possível aumentar o comprimento das linhas laterais utilizando diferentes espaçamentos entre gotejadores, criteriosamente selecionados, desde que a vazão por metro linear seja a mesma no início e no final da tubulação, supondo ainda que não haverá diferença de produtividade e de qualidade na cultura irrigada.

Dessa maneira, o objetivo desse trabalho foi comparar linhas laterais de dois segmentos diferentes com linhas laterais convencionais, de segmento único, através da análise de parâmetros físicos, químicos e físico-químicos da cultura de rabanete e da formação dos bulbos molhados no solo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Água no mundo

A água é um dos recursos naturais mais importantes para o desenvolvimento da agricultura no mundo, uma vez que as novas tecnologias para aumento de produtividade das áreas agrícolas são dependentes da disponibilidade de água às culturas.

A água não se distribui de maneira uniforme pelo globo terrestre: dos $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ do total de água no planeta, aproximadamente 97% constituem os mares; 2,2% compõem as geleiras e somente 0,8% correspondem às águas doces. Desses 0,8%, apenas 3% apresentam-se de forma superficial, de fácil extração (Von SPERLING, 1995). Mesmo países em que os recursos hídricos são abundantes, como o Brasil, podem apresentar sérios problemas de distribuição desta água. Segundo Macedo (2001), estima-se que 80% do volume total de água disponível no país encontra-se na região da Amazônia, onde vivem apenas 5% da população. Já na região nordeste, onde vive cerca de 1/3 da população brasileira, encontra-se apenas 3,3% das disponibilidades hídricas do país. Na Figura 1 pode-se observar dados do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), correlacionando a área e população de cada região do país com sua respectiva disponibilidade hídrica.

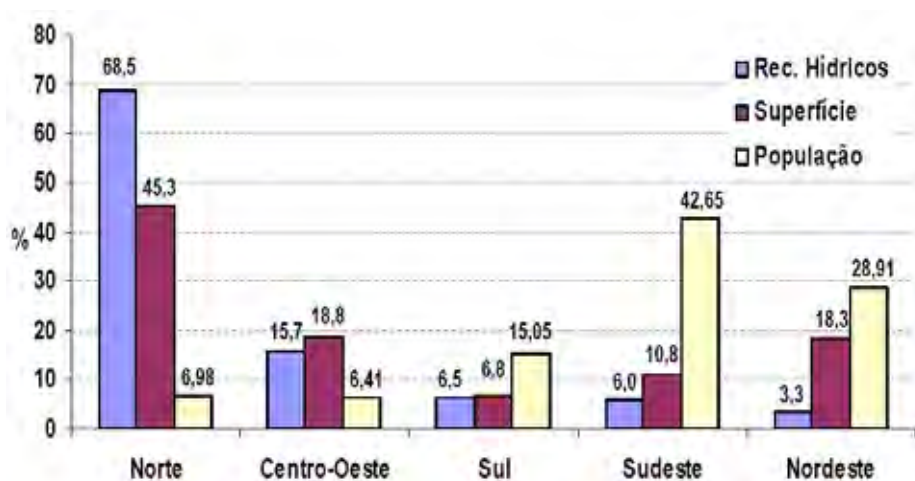


Figura 1. Distribuição de recursos hídricos, superfície e população em cada região do Brasil. Fonte: Brasil (2002).

Segundo Brown et al. (2000) e Papadopoulos (1999), apenas no século passado a densidade demográfica triplicou, enquanto a demanda por água potável aumentou em seis vezes. Isto indicaria que o consumo de água no planeta poderia dobrar nos próximos 25 anos, tornando a situação ainda mais crítica.

Com o aumento da densidade demográfica, aumenta-se não apenas a demanda por água, mas também a necessidade de produção de alimentos e, conseqüentemente, a utilização de grande parte dessa água na agricultura, muitas vezes gerando conflitos de soluções complexas. Em algumas bacias hidrográficas do país, a maior parte da água captada destina-se a agricultura irrigada. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (2002), a utilização da água na agricultura chega a 33% na região hidrográfica do Rio Paraná, 69% na região hidrográfica do Rio São Francisco e 91% na região hidrográfica do Rio Uruguai. Em nível global, a agricultura irrigada demanda em média 72% dos recursos hídricos utilizados, sendo que os setores industrial e doméstico demandam, respectivamente, 19% e 9% (OLIVEIRA & COELHO, 2000).

Dados como esses, sobre a utilização de água na agricultura, podem impressionar camadas da população menos esclarecidas sobre o assunto, fazendo com que a agricultura seja muitas vezes apontada como a grande causadora da escassez desse recurso natural. A adoção de técnicas de uso racional de água na agricultura pode contribuir muito para diminuição de seu consumo em áreas irrigadas; no entanto, a grande parte da água

utilizada é realmente necessária para a produção de alimentos, não apenas como constituinte celular das plantas, mas principalmente como parte de processos metabólicos necessários ao seu desenvolvimento.

Segundo a FAO (1992), o crescimento demográfico não é o único fator que deve ser levado em consideração. A elevação dos índices de poluição, o manejo inadequado de solos e florestas e a contaminação de rios e lençóis freáticos também são responsáveis pela escassez de água no mundo, pois indisponibilizam a pequena porcentagem de água doce disponível para utilização direta.

Torna-se imprescindível, portanto, o manejo eficiente dos recursos hídricos, tanto na agricultura como nos grandes centros urbanos, como a única maneira de assegurar-se o desenvolvimento econômico e social em bases sustentáveis.

4.2 Irrigação e a escassez de alimentos

Nos últimos anos, muito tem se falado sobre a expansão demográfica global e suas conseqüências, dentre elas, a crise no abastecimento de alimentos em alguns países. Segundo Oliveira & Coelho (2000), estima-se que em 2025 mais de dois bilhões de pessoas não terão o suficiente para se alimentar, seja pela não disponibilidade dos alimentos, seja pela falta de condições financeiras para adquiri-los.

Considerando que a expansão de terras cultiváveis é limitada, o aumento de produtividade nas áreas já cultivadas é fundamental para atender a demanda de alimentos no futuro, aumentando sua oferta, diminuindo seus impactos sobre a inflação e, conseqüentemente, possibilitando acesso de países menos favorecidos a itens básicos da alimentação.

O aumento na produtividade de áreas cultivadas depende de vários fatores, como melhoramento genético de plantas, manejo de pragas e doenças, melhoria nas condições de fertilidade do solo. No entanto, o fornecimento de água às plantas é fundamental para obtenção de culturas produtivas e de qualidade. Dessa forma, o aumento das áreas irrigadas deve ser considerado como uma das alternativas mais importantes no combate à escassez de alimentos no mundo. Esta importância reflete-se nos altos índices de produtividade de áreas irrigadas quando comparadas às regiões desprovidas de tal tecnologia, sendo que 260 milhões de hectares irrigados (17% do total de áreas cultivadas) produzem

aproximadamente 40% da produção agrícola mundial. No Brasil, estima-se que apenas 5% das áreas agrícolas sejam irrigadas (cerca de 3,45 milhões de hectares). No entanto, essas áreas são responsáveis por 16% da produção total e 35% do valor econômico da produção agrícola nacional (MANTOVANI et al., 2007).

Esses dados mostram aumento no número de hectares irrigados no Brasil nos últimos anos, se comparados aos dados do Ministério da Agricultura de 1999, citados por Pinazza & Alimandro (1999), em que o Brasil possuía uma área irrigada de apenas 2,7 milhões de hectares, correspondente a 25% do valor bruto da produção.

No entanto, esse crescimento ainda é muito pequeno frente ao potencial de expansão que o país apresenta. O Brasil tem uma das maiores áreas agricultáveis do planeta e, no entanto, encontra-se apenas na 12^a posição no ranking dos países de maior área irrigada e 11^a posição na relação área irrigada/área cultivada por país. Estima-se que o potencial de crescimento da irrigação no país, de maneira sustentável, seja de 14,6 milhões de ha em terras altas e 14,9 milhões de ha em áreas de várzea, totalizando 29,5 milhões de ha. Desta maneira, o Brasil estaria utilizando cerca de apenas 10,7% de seu potencial de solos aptos para agricultura sustentável (CHRISTOFIDIS, 2002).

Mesmo com a necessidade de aumento de produtividade, o crescimento de áreas irrigadas deve ocorrer de maneira planejada, em relação ao sistema e manejo de irrigação utilizado e, principalmente, em relação à disponibilidade de água para irrigação.

Segundo Oliveira & Coelho (2000), para atender à demanda mundial de alimentos em 2025, a agricultura irrigada deverá dispor de um suprimento de água 60% maior do que o atual, ainda que ocorram significativos aumentos na eficiência dos sistemas de irrigação. Desta forma, alternativas para minimização do problema terão que ser acionadas, como aumento na produtividade por unidade de evapotranspiração, intensificação na reutilização de águas servidas no campo e nos centros urbanos, controle de salinidade e poluição das águas.

4.3 A escolha do sistema de irrigação

A quantidade de água utilizada na agricultura poderá ser um dos fatores mais limitantes à expansão da área irrigada no país. Além dos problemas de

disponibilidade hídrica, existe a necessidade de outorga de água e sua devida cobrança, previstos na Lei Federal n.º 9433 de 8 de janeiro de 1997.

Segundo Bernardo et al. (2006), a escolha do método de irrigação deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica dos sistemas, considerando-se a topografia do terreno, tipo de solo, clima, cultura, manejo de irrigação, quantidade e qualidade de água disponível. Os autores afirmam que em situações onde a quantidade de água ou seu custo forem limitantes, deve-se optar por sistemas com máxima eficiência de aplicação de água às plantas, como os sistemas de irrigação por gotejamento.

Portanto, uma das maneiras de se promover o aumento da área irrigada de forma sustentável é optar, sempre que técnica e economicamente viável, pela implantação de sistemas de irrigação localizada, com baixo consumo de água e energia.

A Tabela 1 mostra uma estimativa de distribuição de área irrigada pelos diferentes sistemas de irrigação (CHRISTOFIDIS, 2006). Observa-se que a área irrigada por irrigação localizada ainda é pequena no Brasil, correspondendo a menos de 1/5 da área irrigada por superfície.

Tabela 1. Distribuição da área irrigada no Brasil (ha), de acordo com o sistema de irrigação utilizado.

Método de irrigação	Superfície	Aspersão Convencional	Pivô Central	Localizada	Total
(hectares)	1.729.834	662.328	710.553	337.755	3.440.470

Segundo Klar (2000), o custo de implantação do sistema de irrigação localizada é o maior dentre os métodos de irrigação, podendo custar até 2,5 vezes mais se comparado a irrigação por superfície.

O fato de ser um método relativamente recente no país e de alto custo de implantação pode ter contribuído para que ainda seja o método menos utilizado em termos de área irrigada, situação que pode se alterar ao longo dos anos devido a suas características de eficiência no uso de água.

4.3.1 Sistema de irrigação por gotejamento

Sistemas de irrigação localizada são aqueles em que a água é aplicada diretamente na região radicular, em pequenas intensidades e alta frequência, podendo ser por microaspersão ou gotejamento. O sistema de irrigação por gotejamento caracteriza-se pela presença de emissores (gotejadores) através dos quais a água escoar após ocorrer dissipação de pressão ao longo de uma rede de condutos. As vazões de cada emissor geralmente variam de 2 a 20 L h⁻¹ (MANTOVANI et al., 2007). Segundo os autores, o sistema apresenta as seguintes vantagens e desvantagens em relação a outros métodos de irrigação:

- *Vantagens:* possibilita o controle rigoroso da quantidade de água aplicada às culturas; menor mão-de-obra no manejo do sistema; redução da incidência de pragas e doenças e do desenvolvimento de plantas daninhas; permite a quimigação; otimização do uso de fertilizantes; possibilita o cultivo em áreas com afloramentos rochosos ou com declividades acentuadas; grande economia de água e energia; excelente uniformidade de aplicação de água.

- *Desvantagens:* alto custo inicial; elevado potencial de entupimento dos emissores; necessidade de sistema de filtragem; inviável em águas com altos níveis de ferro e carbonato; manutenção com maior frequência.

A uniformidade de aplicação de água em áreas irrigadas influencia diretamente o manejo, a eficiência e o custo da irrigação, assim como afeta a qualidade e produtividade da cultura.

Santos et al. (2003) afirmam que uma baixa uniformidade de distribuição de água faz com que determinadas plantas irrigadas pelo sistema recebam mais água e adubo do que outras, resultando em um desenvolvimento desuniforme dentro da plantação. Acrescentam ainda que o excesso de água no solo provoca a lixiviação de nutrientes, a redução na concentração de oxigênio disponível às raízes e pode aumentar a incidência de pragas e doenças, enquanto que a escassez aumenta os riscos de salinização do solo e inibe o potencial produtivo da planta. Além disso, a má distribuição de água no solo poderia prejudicar o manejo da irrigação se o sensor de umidade estivesse instalado em locais onde a vazão do emissor apresentasse alto desvio padrão em relação à média geral do sistema.

Horton et al. (1982) e Kang & Wan (2005) reafirmam a capacidade dos sistemas de irrigação por gotejamento em apresentar elevados valores de uniformidade de

aplicação de água, destacando que o sistema propicia a minimização de flutuações no potencial de água no solo, permitindo que culturas como o rabanete se desenvolvam em condições ótimas de produtividade e qualidade.

4.3.2 Perda de carga em linhas laterais na irrigação por gotejamento

Bernardo et al. (2006) definem a perda de carga ao longo da tubulação como a perda atribuída ao movimento da água, de maneira uniforme, ao longo de qualquer trecho de uma canalização de diâmetro constante, constituindo o principal tipo de perda na maioria dos projetos de condução de água.

Além de perdas de carga ao longo da tubulação, pode-se destacar as perdas de carga localizadas, ocasionadas por peças como curvas, registros, válvulas, mudança de diâmetro, etc. Desta maneira, a perda de carga em uma linha lateral de irrigação por gotejamento corresponde à soma da perda de carga que ocorre entre um emissor e outro com a perda de carga localizada na inserção dos gotejadores à parede do tubo. Isto porque a linha lateral de irrigação por gotejamento pode ser considerada uma lateral com múltiplas saídas (gotejadores) e seu dimensionamento segue os mesmos conceitos hidráulicos utilizados no cálculo de linhas laterais de irrigação por aspersão.

Karmeli & Keller (1975) definem a vazão de um emissor como uma função do tipo potência da pressão de operação, conforme a Equação 1:

$$q = K.H^x \quad (1)$$

Em que:

q: vazão do emissor ($L\ h^{-1}$)

K: constante de proporcionalidade, relacionada com a área do orifício e com o coeficiente de descarga (adimensional)

H: pressão de operação do emissor (m.c.a)

x: expoente característico do regime de fluxo (adimensional)

Os mesmos autores definiram que existe fluxo laminar, turbulento e auto-compensado, respectivamente, para valores de x iguais ou próximos a 1, 0,5 e 0. Esta

definição de x igual ou próximo a 0,5 corresponde a um fluxo turbulento no emissor tipo labirinto plano, não se relacionando com a definição de fluxo turbulento conforme o número de Reynolds (ANDRADE, 2008).

Segundo Andrade (2008), é também usual a divulgação da vazão por metro de linha lateral, calculada a partir da Equação 2:

$$q_{es} = \frac{K.H^x}{es} \quad (2)$$

Em que:

q_{es} : vazão por metro de linha lateral ($L h^{-1} m^{-1}$)

K : constante de proporcionalidade, relacionada com a área do orifício e com o coeficiente de descarga (adimensional)

H : pressão de operação do emissor (m.c.a)

x : expoente característico do regime de fluxo (adimensional)

es : espaçamento entre emissores (m)

De acordo com as Equações 1 e 2, para emissores com expoente de descarga x maiores que zero, a vazão dos emissores ao longo da mangueira não é uniforme. Isto porque a distribuição de pressão ao longo desta lateral será decrescente da entrada para o fim, devido às perdas de carga ao longo da tubulação, desnível e perdas localizadas. Desta forma, a distribuição de água no solo não ocorreria de maneira uniforme até mesmo entre gotejadores da mesma linha lateral, podendo ocasionar a aplicação de diferentes lâminas de água (considerando-se a utilização de gotejadores convencionais e linha lateral em nível).

Segundo Frizzone et al. (1998), a relação vazão-pressão, a perda de carga ao longo da linha lateral e no emissor e o percurso da água no mesmo, constituem as características hidráulicas que influenciam diretamente o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento. Essas características dependem do tipo de emissor, do material, do processo de fabricação e da forma de conexão do emissor na linha.

O dimensionamento da linha lateral é função da variação de pressão ou de vazão permitida. A variação entre o ponto de maior e de menor vazão não deve ultrapassar

10%, o que equivale a uma variação de pressão de 20% se o expoente x da pressão for de 0,5 (KARMELI & KELLER, 1975; BERNARDO et al., 2006).

Uma alternativa para diminuir os efeitos da perda de carga na linha lateral é a utilização de gotejadores auto-compensados, emissores que trabalham com vazão constante para uma faixa bem ampla de pressão. A utilização desse tipo de gotejador permite dimensionar sistemas com linhas laterais mais longas, desejável para diminuição de custos de implantação do sistema. No entanto, o custo de aquisição de sistemas de irrigação com gotejadores auto-compensados tem superado o custo de gotejadores convencionais, fazendo com que muitos agricultores optem pela diminuição dos custos em detrimento dos benefícios operacionais que os auto-compensantes apresentam. Em cotação de preços realizada em 2008 para a região de Botucatu-SP, o custo de linhas laterais de gotejadores convencionais foi de aproximadamente 60% do custo de linhas laterais com gotejadores auto-compensados, para mesma marca, com características semelhantes e mesmo espaçamento entre emissores.

Em plantios em nível, o uso de gotejadores não auto-compensados é uma alternativa interessante ao produtor, pois pode-se assegurar níveis adequados de uniformidade com um comprimento de linha lateral bem dimensionado.

Portanto, torna-se importante o desenvolvimento de novas técnicas ou produtos que permitam o aumento de uniformidade de distribuição de água a baixo custo, facilitando o acesso dessa tecnologia a produtores.

4.3.3 Espaçamento entre emissores e a sobreposição de bulbos úmidos

A água liberada no solo através de gotejadores propaga-se de maneira tridimensional para as camadas mais profundas, formando o que comumente é conhecido como bulbo molhado ou bulbo úmido. Em irrigação por gotejamento de cultivos adensados, como as hortaliças de maneira geral, ocorre a sobreposição dos bulbos úmidos formados pelos emissores, formando muitas vezes uma faixa úmida de irrigação. Torna-se importante conhecer o diâmetro dos bulbos e a maior distância possível entre emissores da linha lateral, mantendo-se ainda a sobreposição necessária para que se atendam as necessidades hídricas da cultura. Desta maneira, pode-se obter um dimensionamento mais racional e econômico, do ponto de vista de consumo de água e de custo de implantação do sistema.

A forma dos bulbos sob o solo depende do equilíbrio de forças gravitacionais e capilares e está relacionada, entre outros fatores, à quantidade de água aplicada e à textura do solo.

Segundo Keller & Bliesner (1990), o volume de solo úmido é função direta da quantidade total de água aplicada e relativamente independente da taxa de aplicação em solos uniformes. A aplicação em excesso aumenta a profundidade de penetração de água para abaixo da zona de raízes. Aplicações diárias tendem a minimizar perdas por percolação, mas produzem pequena área molhada. O diâmetro molhado é maior na faixa de 0,15 a 0,30 m de profundidade, a não ser que altas taxas de aplicação sejam usadas.

Li et al. (2004) concluíram que em solos de textura muito argilosa o máximo diâmetro molhado ocorre na superfície, sendo que em solos de textura arenosa o máximo diâmetro molhado ocorre mais profundamente; os autores apresentaram ainda uma equação (3) empírica para cálculo de largura e profundidade de bulbo molhado para emissores de vazão entre 0,5 a 7,8 L h⁻¹.

$$d = 0,76z^{0,20} \left(\frac{K_s}{q} \right)^{-0,05} \quad (3)$$

Em que:

d: diâmetro molhado medido no ponto mais largo (m)

z: profundidade molhada (m)

q: vazão do emissor (m³ s⁻¹)

K_s: condutividade hidráulica do solo saturado (m s⁻¹)

Schwartzman et al. (1986) também desenvolveram uma equação para estimar a dimensão do bulbo molhado, para emissores com vazão de 4 a 20 L h⁻¹:

$$d = 1,32z^{0,35} q^{0,33} K_s^{-0,33} \quad (4)$$

Em que:

d: diâmetro molhado medido no ponto mais largo (m)

z: profundidade molhada (m)

q: vazão do emissor ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

K_s: condutividade hidráulica do solo saturado (m s^{-1})

Hung (1995) desenvolveu um gráfico para cálculo do máximo espaçamento entre emissores, em função do tipo de solo e da vazão do emissor. Trabalhando com um emissor de 2 L h^{-1} e efetuando medidas a 0,3 m de profundidade, o autor calculou espaçamentos entre emissores de 0,3 m, 0,6 m e 1,0 m, respectivamente, para solos arenosos, médios e argilosos.

Segundo Keller & Bliesner (1990), o espaçamento entre emissores deve ser igual ou menor que 80% do máximo diâmetro molhado, para que se forme uma faixa contínua e uniformemente úmida, concluindo que equações e tabelas somente devem ser utilizadas como estimativas para início de testes de campo.

Benami & Ofen (1984) explicam que a seleção do espaçamento ideal não é uma tarefa fácil, apesar de várias equações serem desenvolvidas para se estimar a distância máxima entre emissores. Os autores consideram as relações não-lineares entre as variáveis envolvidas e concluíram que os melhores resultados sempre são conseguidos com testes a campo.

Enciso et al. (2005) realizaram testes a campo para avaliar os efeitos do espaçamento entre emissores (15, 20 e 30 cm) e profundidade de emissores (0, 15 e 30 cm) na produção e qualidade de cebola irrigada por gotejamento. Não se verificou diferenças estatísticas no número de bulbos e na produtividade de cebola para os diferentes espaçamentos entre emissores e profundidades utilizados, variando de 62,3 a 66,3 t ha^{-1} . Também não foram relatadas diferenças nos teores de ácido pirúvico e sólidos solúveis, indicando que não houve efeito dos tratamentos sobre a qualidade da cebola.

4.4 A cultura de rabanete

4.4.1 Características gerais

O rabanete é uma planta de porte reduzido, da família das brassicáceas. Produz raízes globulares, de coloração escarlate-brilhante e polpa branca, nas cultivares de maior aceitação. A cultura adapta-se melhor a solos leves, sendo a faixa de pH 5,5 a 6,8 a mais favorável. É intolerante ao transplante, necessitando ser semeado diretamente no canteiro definitivo, em sulcos de até 1,5 cm de profundidade. Deve-se efetuar o desbaste quando as plantas atingirem 5 cm de altura, deixando as mais vigorosas espaçadas de 8 a 10 cm. Ao longo do ciclo, o teor de água útil no solo deve ser mantido próximo a 100% da capacidade de campo, evitando flutuações para que não ocorram rachaduras. Outra forma de prevenção de rachaduras e isoporização é a colheita precoce, antes de atingirem o tamanho máximo. O ciclo do rabanete é um dos mais rápidos entre as hortaliças, com início das colheitas aos 20-30 dias, dependendo da estação do ano (FILGUEIRA, 2000).

Apesar de não ser uma cultura expressiva em termos de área plantada, o rabanete é cultivado em grande número de pequenas propriedades dos cinturões verdes das regiões metropolitanas (CARDOSO & HIRAKI, 2001).

A produção de rabanete no país oscila em torno de 5 mil toneladas por ano, cultivado e consumido principalmente nas regiões sul e sudeste. Os principais cultivares comerciais, híbridos ou de polinização aberta são: Crimson Gigant, Akamura, Fogo, Comprido Vermelho, Precoce Scarlet Globe, Sparkler Ponta Branca, Híb. Chierriete, Híb. Juliete, Híb. Crunchy e Híb. nº 19 (AGUILA, 2004).

Uma das vantagens de se cultivar esta espécie é a possibilidade de auferir ganhos durante o tempo transcorrido em comparação a outras culturas de ciclo mais longo, pois além de ser relativamente rústica, apresenta ciclo muito curto com rápido retorno (TORRES et al., 2003), tornando-se uma alternativa econômica para pequenos produtores.

4.4.2 Efeitos da irrigação na produtividade e qualidade de rabanete

No Brasil, pouca ênfase tem sido dada ao estudo do consumo de água na cultura do rabanete, à sua resposta ao "déficit" hídrico e aos demais fatores relacionados à otimização da irrigação no cultivo (PEREIRA et al., 1999). São raros os trabalhos sobre

manejo da irrigação em rabanete; no entanto, a cultura é extremamente sensível às flutuações de umidade no solo, sofrendo distúrbios fisiológicos na menor falta ou excesso de água.

Segundo Leite (1976), variações nas condições de temperatura e umidade do solo durante o desenvolvimento das plantas podem prejudicar a produtividade e a qualidade das raízes. Kang & Wan (2005) afirmam que tanto a produtividade como a qualidade de rabanete são altamente influenciadas por períodos de seca ou por irrigações manejadas de maneira inadequada.

Para Pereira et al. (1999), não somente a quantidade de água pode influenciar os parâmetros de produção e qualidade, mas também o manejo dessa irrigação. Os autores afirmam ainda que a umidade do solo deva ser mantida elevada, próxima a 100% da capacidade de campo, ao longo de todo o ciclo da cultura de rabanete.

Sanders (1997) afirma que não existe um período crítico para irrigação da cultura e que todo o ciclo deve ser manejado com atenção. O autor sugere que o manejo em solos arenosos seja realizado por tensiometria, efetuando-se a irrigação sempre que o aparelho indicar uma tensão de -25 kPa.

Em rabanete, períodos de seca podem causar redução da qualidade mesmo que a produtividade não seja afetada. Grandes flutuações na umidade do solo durante o período de expansão das raízes podem ocasionar rachaduras. Estas rachaduras geralmente ocorrem quando pouca água é fornecida às plantas durante um período e repentinamente a planta recebe água em excesso. Portanto, a melhor maneira de prevenir rachaduras em raízes é manter um fornecimento de água uniforme (SANDERS, 1997).

Nesse sentido, Kramer (1969) afirma que o estresse hídrico sofrido pelas plantas pode alterar o seu desenvolvimento, modificando a fisiologia, morfologia e, principalmente, afetando as reações bioquímicas.

Os cultivos perdem água diariamente por evapotranspiração, fenômeno que envolve tanto a transpiração através das folhas das plantas como a evaporação da água do solo. As plantas precisam de uma faixa adequada de umidade no solo para poderem absorver os nutrientes necessários ao seu crescimento e desenvolvimento, pois uma carência de água pode tornar deficiente e até mesmo interromper a síntese e o transporte de nutrientes no interior dos vegetais. Assim, é essencial um fornecimento adequado de água aos cultivos para se promover o melhor desenvolvimento das plantas (SEGOVIA & LOPES FILHO, 2004).

Hernandes (1995), trabalhando com lâminas de irrigação em variadas fases da cultura do meloeiro, obteve aumento no teor de sólidos solúveis no maior nível de estresse hídrico utilizado durante a fase de frutificação. Resultado semelhante foi obtido por Pereira et al. (1999), trabalhando com níveis de reposição da capacidade de campo em rabanete. Segundo os autores, maiores teores de sólidos solúveis foram observados nos tratamentos em que o nível de reposição da capacidade de campo foi de 60%, comparado a níveis de 80 e 100%.

Costa et al. (2006) verificaram alta incidência de rachaduras nas raízes de rabanete, atribuída às oscilações hídrica e térmica no solo, advindas de elevadas temperaturas registradas em alguns dias e à falta de cobertura morta sobre o solo, favorecendo o rápido secamento da camada superficial do solo. Kano & Fukuoka (1995) citam que durante o período de crescimento de rabanete japonês, temperaturas do solo acima de 30°C favorecem a ocorrência de rachaduras externas nas raízes, devido à formação de lignina ao redor das células, induzidas pelo aquecimento.

Se por um lado o estresse hídrico pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, também deve-se estar atento aos danos causados pelo excesso de água às hortaliças, já que a maioria delas não se desenvolve bem em locais encharcados.

Na folhagem das plantas, o excesso de água causa o aparecimento e a disseminação de doenças, enquanto na zona das raízes impede o arejamento do solo e lava os nutrientes, ou seja, arrasta-os para as camadas mais profundas do solo, prejudicando o crescimento das raízes e da planta como um todo, além de dificultar a respiração pelas raízes (SEGOVIA & LOPES FILHO, 2004).

4.4.3 Parâmetros de qualidade para frutos e hortaliças

As condições de plantio e condução da cultura podem ter efeito sobre índices físicos, químicos e físico-químicos de qualidade, determinantes da maturidade de frutas e hortaliças. Segundo Chitarra & Chitarra (1990), os principais índices para caracterização das transformações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas nos vegetais podem ser divididos em:

a. índices físicos:

- forma (diâmetro longitudinal e transversal ou comprimento)

- espessura de casca (característico da cultivar)
- número de sementes (importante apenas em alguns frutos)
- peso
- rendimento em suco ou polpa (produtos destinados à indústria)
- relação polpa/casca ou polpa/caroço (produtos destinados à indústria)

b. índices químicos e físico-químicos:

- pH
- acidez
- sólidos solúveis
- relação sólidos solúveis/acidez
- açúcares redutores (glicose e frutose)
- açúcares não redutores (sacarose)
- açúcares totais (redutores + sacarose)
- substâncias pécnicas
- vitamina C (ácido ascórbico + ácido dehidroascórbico)
- carotenóides
- respiração

Em relação aos índices físicos, Torres et al. (2003) avaliaram os efeitos da densidade de plantio sobre o peso e diâmetro de raízes de rabanete. Não se observou diferenças estatísticas entre os tratamentos, sendo que o peso de matéria fresca médio variou de 22,04 g a 28,63 g e o diâmetro médio variou de 31,49 mm a 33,57 mm. Pereira et al. (1999), pesquisando diferentes níveis de reposição de água na cultura de rabanete, encontraram valores médios de peso de matéria fresca de 16,07 g a 12,27 g, significativamente diferentes, respectivamente para níveis de reposição de 100% e 60% da capacidade de campo.

A relação entre ácidos orgânicos e sólidos solúveis muitas vezes é utilizada como critério de avaliação do sabor. Segundo Chitarra & Chitarra (1990), os ácidos orgânicos dissolvidos no vacúolo das células contribuem para a acidez e para o aroma característico das plantas, pela volatilidade de alguns de seus componentes. O teor de ácidos orgânicos tende a diminuir com a maturação, em decorrência da respiração ou de sua

conversão em açúcares, constituindo uma excelente fonte de reserva energética do fruto, através de sua oxidação no ciclo de Krebs. Os teores de acidez geralmente não excedem 2,0% em frutos e hortaliças, com raras exceções como no espinafre e limão, que podem conter teores maiores que 3%.

Sólidos solúveis indicam a quantidade de sólidos dissolvidos no suco ou polpa, com tendência de aumento com a maturação.

Segundo Hernandez (1995), trabalhando com diferentes lâminas de irrigação, o teor de sólidos solúveis em melão aumentou proporcionalmente ao nível de estresse hídrico sofrido pela cultura. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al. (1999), trabalhando com diferentes níveis de reposição da capacidade de campo em rabanete. O autor observou teores de sólidos solúveis de 4,53, 4,04 e 3,95 °Brix, respectivamente, para níveis de reposição da capacidade de campo 60%, 80% e 100%.

Chitarra & Chitarra (1990) afirmam que a vitamina C é um dos componentes nutricionais mais importantes e que cerca de 90% das necessidades dessa vitamina no homem advêm de frutos e hortaliças. Segundo os autores, seu teor médio em rabanetes é de 28 mg em 100 g de raízes. Fersini (1976) cita valores próximos, de 24 mg em 100 g de raízes. Aguila (2004) trabalhando com processamento mínimo e refrigeração de rabanetes, cita valores de 22,45 mg de ácido ascórbico em 100 g de raízes antes do início dos tratamentos (rabanete “in natura”, em temperatura ambiente).

Além de índices físico-químicos de maturidade, pode-se avaliar a qualidade de frutas e hortaliças através de atributos como aparência, textura, “flavor” (sabor e aroma), valor nutritivo e segurança.

A textura (firmeza) está diretamente relacionada ao “flavor”, pois os compostos liberados, perceptíveis ao paladar, estão relacionados com a estrutura do tecido vegetal. Os principais componentes químicos dos tecidos vegetais, responsáveis pelas mudanças de textura em frutos e hortaliças, são as substâncias pécticas, que se encontram sob diferentes formas, caracterizadas por diferentes solubilidades (CHITARRA & CHITARRA, 1990). Segundo os autores, a avaliação da textura pode ser realizada por métodos subjetivos (associação dos sentidos olfato, paladar e tato) ou objetivos, em que a textura é expressa numericamente através de equipamentos apropriados como penetrômetro, pressurômetro ou testadores de compressão, cisalhamento e tensão.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no município de São Manuel-SP e pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu-SP. As coordenadas geográficas da fazenda são: 22°46'35"S e 48°34'44"W, em relação a Greenwich, com altitude de 750 m. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa, ou seja, temperado quente e úmido, com temperatura média do mês mais quente acima de 22°C. As médias anuais do município são de 1433 mm de precipitação, 71% de umidade relativa do ar e 23°C de temperatura. A classificação do clima e os dados meteorológicos foram fornecidos pelo setor de Ciências Ambientais do Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP – Botucatu.

A estufa para cultivo protegido (Figura 2) foi instalada na direção leste-oeste e possuía 30 m de comprimento, 7 m de largura e 3 m de pé-direito. Foi coberta com filme de polietileno transparente de baixa densidade com 150 micras de espessura; as laterais foram protegidas pelo mesmo filme, até a altura de 1 m, e totalmente fechadas por uma tela de nylon preta de 1,0 mm.



Figura 2. Estrutura da estufa e preparo da área experimental para cultivo de rabanete.

5.2 Delineamento estatístico

A idéia principal do trabalho foi comparar os segmentos iniciais e finais de uma linha lateral de espaçamento único entre emissores com os mesmos segmentos de uma linha lateral de espaçamento variado. Cada linha lateral proposta foi denominada de *Situação* e foi composta por dois segmentos distintos, segmento inicial e segmento final, cada segmento formado por uma combinação de pressão e espaçamento entre emissores (Figura 3).

A *Situação 1* representa uma linha lateral com espaçamento entre emissores de 24 cm no segmento inicial (calculado segundo metodologia detalhada no item 5.2.2.) e de 20 cm no segmento final (espaçamento comercial). Essa situação foi comparada à *Situação 3* (situação controle), em que a linha lateral apresenta apenas um espaçamento de 20 cm para todas as seções, inicial e final. Dessa maneira, pode-se avaliar as diferenças entre as seções inicial e final entre linhas laterais de espaçamento único (20 cm) com linhas laterais de espaçamento variado (24 e 20 cm). O mesmo raciocínio foi considerado para as *Situação 2* e *Situação 4*. A *Situação 2* representa uma linha lateral com espaçamento entre emissores de 36 cm no segmento inicial (espaçamento calculado) e de 30 cm no segmento final (espaçamento

comercial). Essa situação foi comparada à *Situação 4* (situação controle), em que a linha lateral apresenta apenas um espaçamento (30 cm). Em todas as *Situações* adotou-se pressão de 100 kPa no segmento inicial e 70 kPa no segmento final.

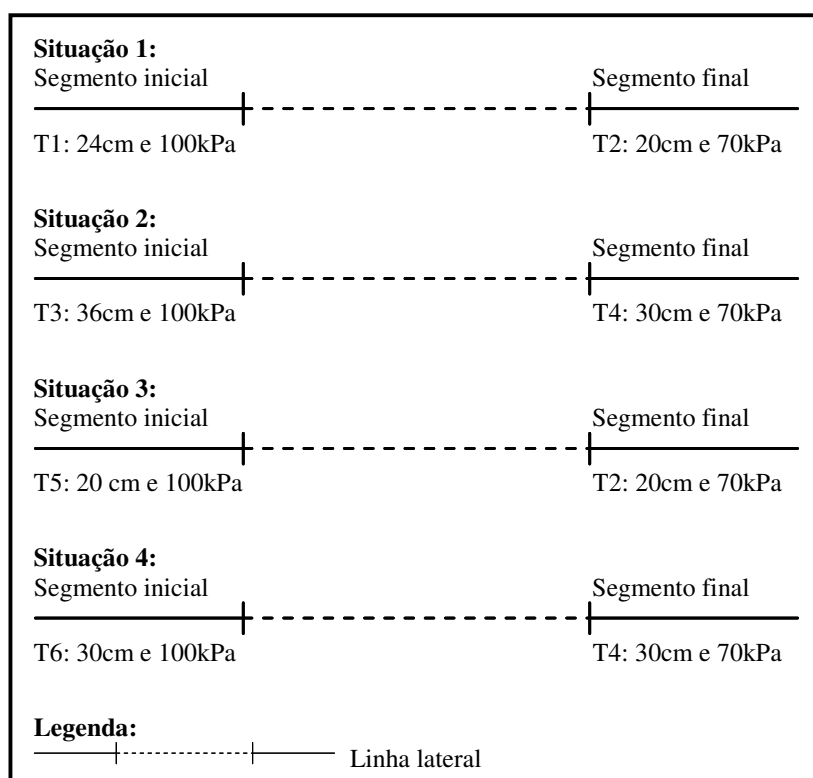


Figura 3. Esquema das situações avaliadas no experimento.

A análise estatística foi realizada de duas maneiras, com delineamento experimental inteiramente casualizado e parcelas de 1,0 m de largura e 5,0 m de comprimento.

Na primeira avaliação (Avaliação I) comparou-se todos os segmentos iniciais e finais das linhas laterais propostas, com o objetivo de verificar se determinado segmento avaliado obteve resultados significativamente diferentes em relação a outro segmento, pertencente ou não à mesma linha lateral. Nesse caso foram considerados 6 tratamentos e 4 repetições, cada tratamento representativo de um segmento da linha lateral e formado a partir da combinação de quatro espaçamentos entre os emissores (20, 24, 30 e 36 cm) e duas pressões de serviço (70 e 100 kPa), em que:

- T1: 24 cm e 100 kPa (segmento inicial da situação 1)
- T2: 20 cm e 70 kPa (segmento final das situações 1 e 3)
- T3: 36 cm e 100 kPa (segmento inicial da situação 2)
- T4: 30 cm e 70 kPa (segmento final das situações 2 e 4)
- T5: 20 cm e 100 kPa (segmento inicial da situação 3)
- T6: 30 cm e 100 kPa (segmento inicial da situação 4)

A segunda avaliação (Avaliação II) comparou as linhas laterais propostas entre si. Nesse caso foram considerados 4 tratamentos (*situações*), cada um composto pela média dos resultados do segmento inicial e final de cada linha lateral, em que:

- Situação 1: segmento inicial (24 cm e 100 kPa) + segmento final (20 cm e 70 kPa).
- Situação 2: segmento inicial (36 cm e 100 kPa) + segmento final (30 cm e 70 kPa).
- Situação 3: segmento inicial (20 cm e 100 kPa) + segmento final (20 cm e 70 kPa)
- Situação 4: segmento inicial (30 cm e 100 kPa) + segmento final (30 cm e 70 kPa)

5.3 Sistema de irrigação

A caracterização do sistema de irrigação, desde a fonte de abastecimento até a aplicação de água na cultura, pode ser melhor compreendida através das Figuras 4 a 6.

A Figura 5 caracteriza o sistema de captação e bombeamento de água já existente na fazenda. A água captada em um lago era rotineiramente bombeada para o reservatório central de 40.000 litros, de onde foi distribuída para os experimentos em andamento na fazenda. Para realização deste experimento, instalou-se um filtro de areia para remoção de partículas orgânicas (mais grosseiras) na saída do conjunto moto-bomba, de onde a água foi redirecionada para a estufa através de uma tubulação enterrada de 1” de diâmetro.

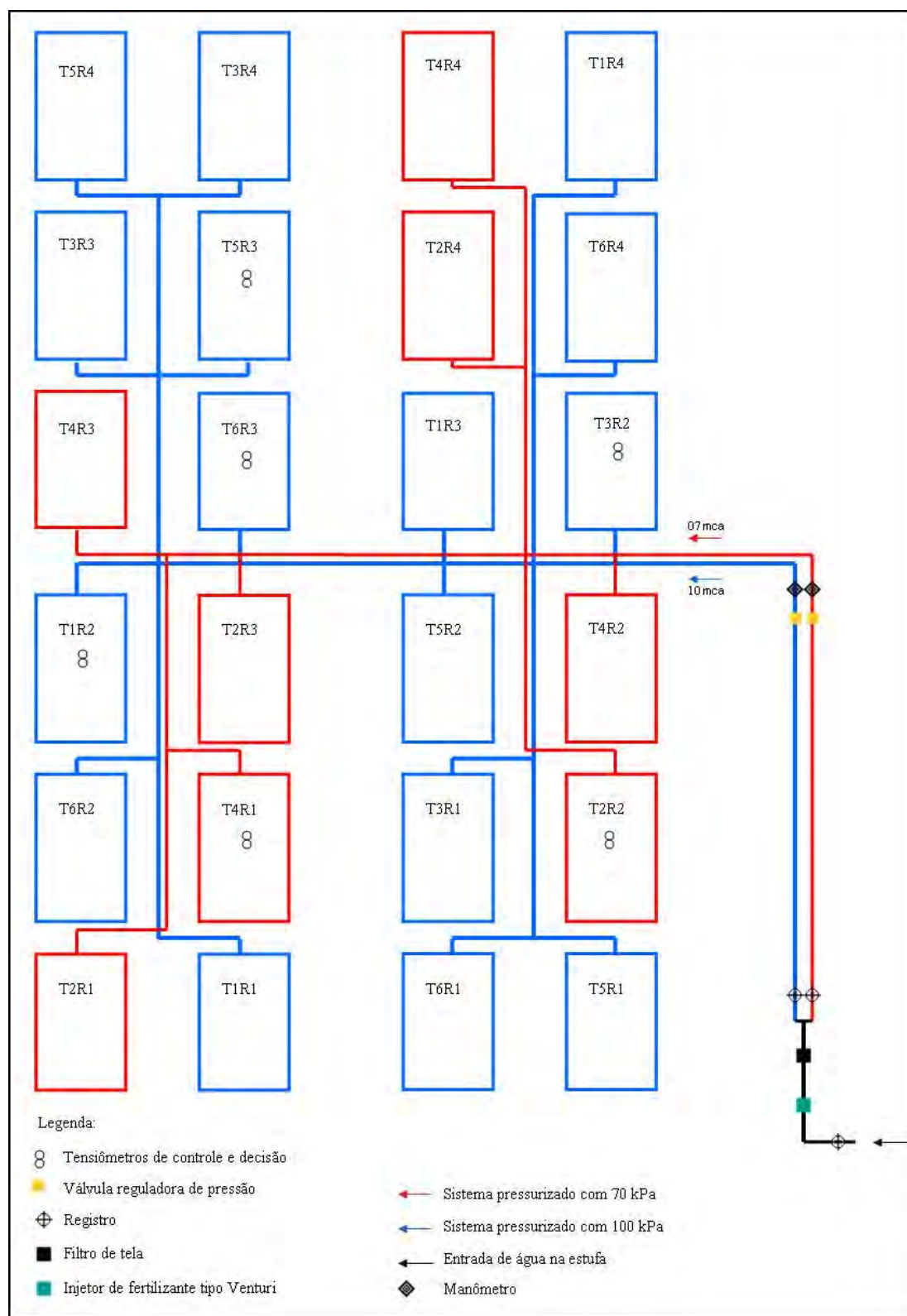


Figura 4. Esquema geral da área experimental (estufa para cultivo protegido).

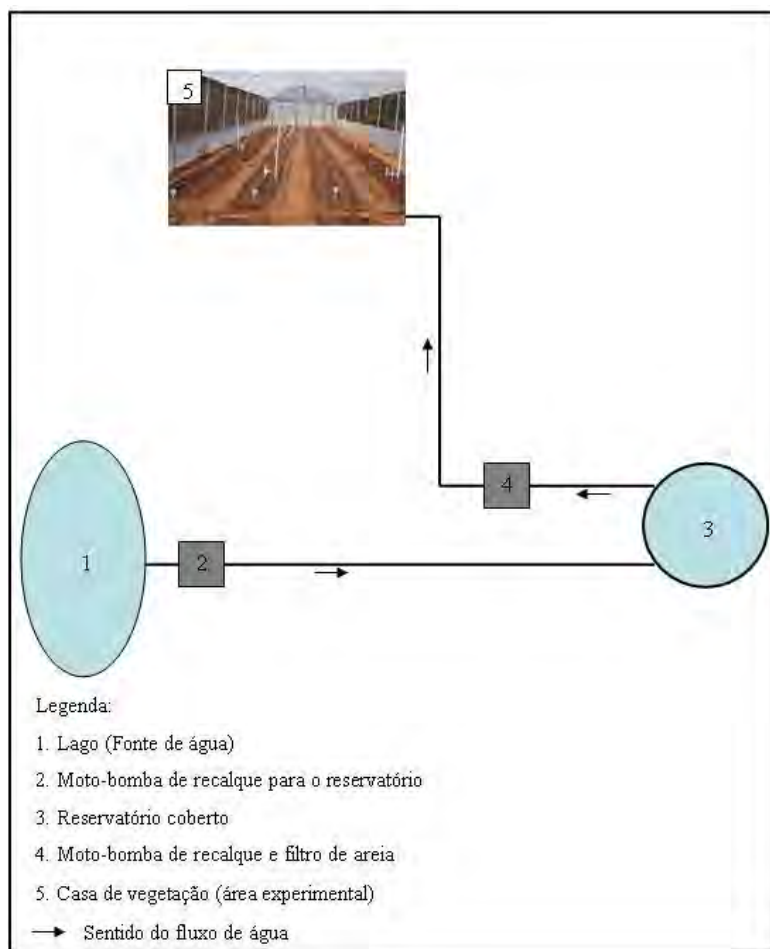


Figura 5. Caracterização do sistema de captação e bombeamento de água até a área experimental.

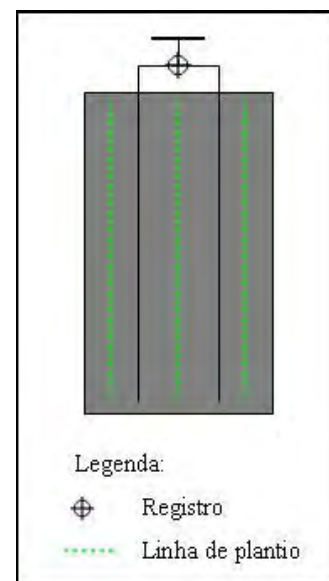


Figura 6. Caracterização da parcela experimental.

Na entrada da estufa instalou-se um filtro de tela para remoção de partículas minerais (mais finas), não removidas na primeira etapa de filtragem, e um injetor de fertilizantes tipo Venturi, caso houvesse necessidade de aplicação de fertilizantes via água de irrigação (Figura 4). A tubulação de polietileno flexível de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro foi subdividida em duas linhas principais de irrigação, uma linha para cada pressão de serviço a ser utilizada (70 e 100 kPa). Em cada linha instalou-se uma válvula reguladora de pressão e um manômetro, para verificação da eficiência da válvula durante as irrigações (Figura 7). Em cada parcela instalou-se uma redução da tubulação para $\frac{1}{2}$ " de diâmetro, um registro para controle de entrada de água e duas linhas laterais de gotejamento, do tipo drip-tape, espaçadas a 40 cm (Figura 6).



Figura 7. Válvulas reguladoras de pressão de 70 e 100 kPa e manômetros de controle, instalados nas linhas principais de irrigação.

O manejo da irrigação foi realizado através de uma bateria de dois tensiômetros de mercúrio (Figura 8) instalados em cada tratamento, em parcelas tomadas aleatoriamente. O primeiro tensiômetro, instalado a 12 cm de profundidade (em relação ao centro da cápsula porosa de 6 cm de comprimento), foi denominado *tensiômetro de decisão*, pois com base nessas leituras foram realizadas as irrigações. O segundo tensiômetro foi denominado *tensiômetro de controle* e instalado a 27 cm de profundidade (em relação ao centro da cápsula porosa), para controle da lâmina aplicada.

A curva de retenção de água no solo, necessária para o manejo de irrigação via tensiometria, foi obtida segundo metodologia proposta por Richards (1965), determinando uma relação entre valores de umidade do solo e potencial matricial (Figura 9). Os dados para obtenção da curva foram obtidos no Laboratório de Relações Água - Solo do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP – Botucatu.



Figura 8: Tensiômetros de decisão e de controle, instalados na cultura de rabanete.

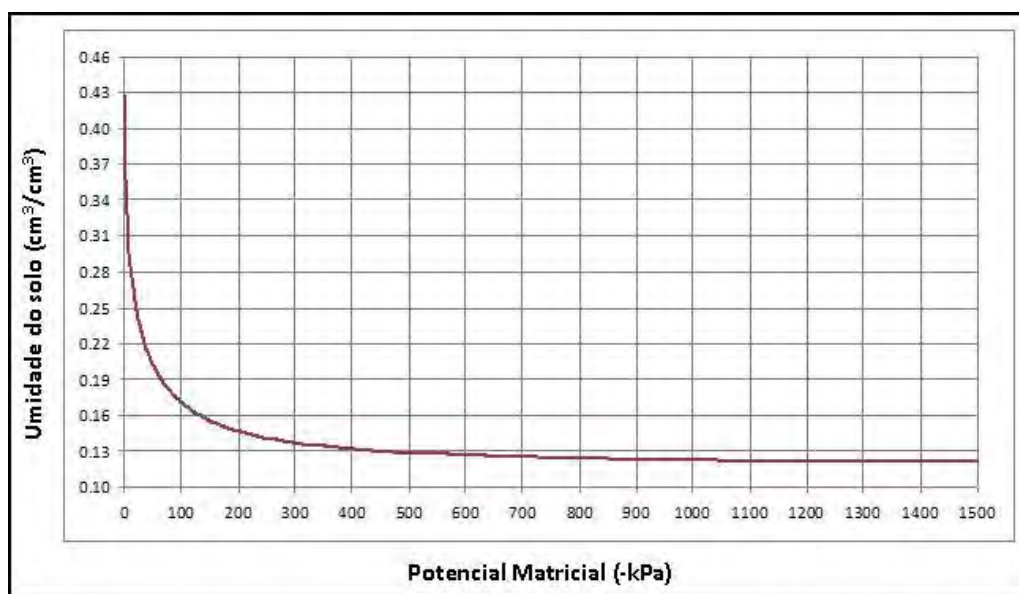


Figura 9. Curva de retenção de água no solo utilizada para o manejo das irrigações.

5.3.1 Manejo da irrigação

As irrigações foram realizadas para elevar o potencial de água no solo de -25 kPa para -10 kPa, valores adotados respectivamente como tensão de irrigação e capacidade de campo para cultivo de rabanetes em solos arenosos, segundo Sanders (1997) e Marouelli (informação verbal). Os valores de umidade do solo associados à tensão de irrigação e capacidade de campo foram, respectivamente, de 23,9% e 28,7% com base em volume. A profundidade efetiva do sistema radicular (Z) foi 20 cm, determinada em ensaios preliminares devido à grande variação dos dados encontrados em literatura. A lâmina real de água necessária para elevar a tensão de água no solo até a capacidade de campo foi de 9,6 mm, calculada através da Equação 5.

$$LRN = \frac{CC - UI}{10} \cdot Z \quad (5)$$

Em que:

LRN: lâmina real de água necessária (mm)

CC: umidade do solo na capacidade de campo (% em volume)

UI: umidade do solo correspondente à tensão de irrigação (% em volume)

Z: profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm)

A lâmina total de água necessária, de 10,67 mm, foi calculada a partir da Equação 6, adotando-se uma eficiência de irrigação de 90% (MAROUELLI et al., 1996).

$$LTN = \frac{LRN}{Ei} \quad (6)$$

Em que:

LTN: lâmina de água total necessária (mm)

LRN: lâmina de água real necessária (mm)

Ei: Eficiência de irrigação (decimal)

Para avaliação da uniformidade do sistema, foram realizados ensaios para a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (C.U.C) e do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (C.U.D). Em todos os tratamentos foram utilizadas mangueiras gotejadoras MANARI®, fabricadas pela Petroisa Irrigação Ltda, a partir de uma mistura de resinas de polietileno e com espessura de parede de 250 micra, possuindo gotejador labirinto tipo plano, com vazão nominal de $1,46 \text{ L h}^{-1}$ na pressão de 100 kPa e expoente de descarga (x) igual a 0,461.

Realizou-se um teste de uniformidade para cada pressão utilizada (100 e 70 kPa). A relação vazão - pressão foi fornecida pela fabricante segundo a Equação 7:

$$Q = 0,49847 \cdot P^{0,461} \quad (7)$$

Em que:

Q = vazão do emissor (L h^{-1})

P = pressão de serviço (m.c.a)

Os ensaios foram realizados a campo no início do Ciclo 1 e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2. Para obtenção dos resultados, utilizou-se a metodologia descrita em ABNT (1985).

Tabela 2. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficientes de uniformidade de distribuição de água (CUD) do sistema de irrigação utilizado.

Pressão de serviço (kPa)	C.U.C (%)	C.U.D
70	98,3	96,7
100	98,6	98,1

Na Tabela 3 pode-se verificar o resultado do cálculo das taxas de aplicação, de acordo com o espaçamento entre emissores e pressão de trabalho em cada tratamento.

Tabela 3. Valores utilizados para cálculo do tempo de irrigação em cada tratamento.

Tratamento	Espaçamento entre linhas	Espaçamento entre emissores	Área irrigada pelo emissor	Pressão de serviço	Vazão do emissor	Taxa de aplicação
	m	m	m ²	kPa	l h ⁻¹	mm h ⁻¹
1	0,40	0,24	0,096	100	1,44	15,00
2	0,40	0,20	0,080	70	1,22	15,25
3	0,40	0,36	0,144	100	1,44	10,00
4	0,40	0,30	0,120	70	1,22	10,17
5	0,40	0,20	0,080	100	1,44	18,00
6	0,40	0,30	0,120	100	1,44	12,00

Os cálculos do tempo de irrigação deveriam levar em consideração as 4 situações apresentadas na Figura 3. Todas as situações operam com as duas pressões, uma inicial e uma final, mas simulando a mesma linha de irrigação. Portanto, o tempo de irrigação em T1, T2 e T5 deveriam ser iguais, pois representam a *Situação 1* (proposta no trabalho) e a *Situação 3* (considerada como controle). Com três taxas de aplicação diferentes, adotou-se o menor valor ou valor crítico de 15,00 mm h⁻¹, resultando no tempo de irrigação de 43 minutos como padrão para os três tratamentos.

O mesmo raciocínio foi adotado em T3, T4 e T6. Dessa vez, a taxa de aplicação e o tempo de irrigação considerados padrão para os tratamentos foram, respectivamente, 10,00 mm h⁻¹ e 64 minutos.

5.3.2 Cálculo do espaçamento entre emissores na linha lateral

Os cálculos para determinação dos espaçamentos entre emissores utilizados na linha lateral foram elaborados segundo metodologia desenvolvida por Andrade (2008). A presente pesquisa foi uma continuidade dos trabalhos realizados em laboratório pelo autor e tem como objetivo testar a metodologia em situações de campo. Para isso, trabalhou-se com a hipótese de que uma mesma linha lateral possua dois segmentos, cada segmento com um espaçamento entre emissores diferente, mas com o mesmo modelo de emissor.

Os cálculos apresentados a seguir foram desenvolvidos para que o metro inicial na entrada da linha lateral tenha a mesma vazão que o último metro, ainda que a diferença de pressão entre o início e o final da linha sejam maiores que os 20% recomendados

por Karmeli & Keller (1975). Dessa maneira, seria possível a utilização de gotejadores convencionais em linhas laterais mais longas, economicamente vantajoso.

Segundo Andrade (2008), a vazão por metro de linha lateral pode ser calculada a partir da Equação 2:

$$q_{es} = \frac{K.H^x}{es} \quad (2)$$

Em que:

q_{es}: vazão por metro de linha lateral (L h⁻¹)

H: pressão de operação do emissor (kPa)

es: espaçamento entre emissores (m)

K: constante de proporcionalidade, relacionada com a área do orifício e com o coeficiente de descarga (adimensional)

x: expoente característico do regime de fluxo (adimensional)

Sendo assim, pode-se definir as vazões do primeiro e do último metro da linha lateral segundo as Equações 8 e 9:

$$q_{esIni} = \frac{K.HIni^x}{esIni} \quad (8)$$

Em que:

q_{esIni}: vazão do primeiro metro do segmento inicial;

HIni: pressão na entrada da lateral, que vem a ser a pressão máxima, ou de trabalho;

esIni: espaçamento entre emissores no início da lateral que coincide com o segmento inicial.

$$q_{esFin} = \frac{K.HFin^x}{esFin} \quad (9)$$

Em que:

qesFin: vazão do último metro do segmento final;

HFin: pressão no fim da lateral que é igual a pressão mínima na lateral disposta em nível sob o terreno;

esFin: espaçamento entre emissores no último metro da lateral e do segmento final.

De acordo com a metodologia proposta, o espaçamento entre emissores do segmento final da lateral deve coincidir com um espaçamento comercial, já utilizado na agricultura. O termo **esFin** pode ser definido como um espaçamento padrão disponível no mercado e **esIni** como o novo espaçamento a ser determinado.

Fazendo **qesIni** igual a **qesFin** (igualando as vazões do metro inicial e final da linha lateral) e rearranjando tem-se:

$$HIni^x = \frac{esIni.HFin^x}{esFin} \quad (10)$$

Isolando o termo **esIni** chega-se a Equação 11, utilizada posteriormente:

$$esIni = \frac{esFin.HIni^x}{HFin^x} \quad (11)$$

A variação permissível entre a pressão máxima e mínima de uma lateral, expressa em porcentagem, foi denominada neste trabalho de ΔH , e calculada segundo Equação 12:

$$\Delta H = \frac{HIni - Hfin}{Hini} . 100 \quad (12)$$

A pressão final de uma linha lateral (**HFin**) pode ser considerada função da pressão inicial (**HIni**), multiplicada por um fator (**α**) que represente esta redução de pressão, segundo a Equação 13:

$$HFin = \alpha \cdot HIni \quad (13)$$

Em que **α** pode ser definido como:

$$\alpha = \left(1 - \frac{\Delta H}{100} \right) \quad (14)$$

Elevando-se os dois termos da Equação 13 à x , temos:

$$HFin^x = (\alpha \cdot HIni)^x \quad (15)$$

Substituindo na Equação 11 a definição do termo $HFin^x$ da equação 15 encontra-se:

$$esIni = \frac{esFin \cdot HIni^x}{(\alpha \cdot HIni)^x} \quad (16)$$

Rearranjando a Equação 16 obtém-se a Equação 17, utilizada para determinar o espaçamento do segmento inicial da lateral, a partir do espaçamento do metro final pré-estabelecido (espaçamento comercial) e da variação de pressão permissível para essa lateral:

$$esIni = \frac{esFin}{\alpha^x} \quad (17)$$

Inicialmente foram escolhidas as pressões de trabalho que representariam o início e o final das linhas laterais. A partir de uma pressão inicial (**H_{Ini}**) de 100 kPa e considerando uma variação de pressão permissível (ΔH) de 30%, obteve-se a pressão no metro final da linha lateral (**H_{Fin}**), de 70 kPa, a partir da Equações 13 e 14.

Nota-se que a variação permissível de pressão na linha lateral esteve acima do recomendado, que seria de apenas 20%. Optou-se por esta variação elevada com o objetivo de testar o desempenho do sistema em situações críticas, uma vez que as vazões por metro de linha lateral seriam mantidas iguais.

Para as situações que seriam avaliadas (ver item 5.2), adotou-se dois espaçamentos comerciais como sendo espaçamentos da seção final (**es_{Fin}**), 20 cm e 30 cm, por serem os espaçamentos mais utilizados na irrigação por gotejamento de hortaliças. A partir desses valores e da Equação 17 calculou-se os respectivos espaçamentos iniciais (**es_{Ini}**) de 23,57 cm e 35,36 cm, ajustados para 24 cm e 36 cm devido ao processo de fabricação da mangueira.

A metodologia proposta de utilização de linhas laterais com dois espaçamentos distintos entre emissores iguala a vazão por metro nas seções iniciais e finais e permite a utilização de linhas laterais mais longas em relação às linhas laterais de espaçamento único entre emissores. No presente trabalho, de acordo com as características do material utilizado, os valores de pressão e espaçamento entre emissores adotados, e segundo metodologia proposta em Andrade (2008), as linhas laterais avaliadas teriam as seguintes características:

- Situação 1 (*espaçamento variado*): linha lateral com espaçamento inicial de 24 cm e final de 20 cm; comprimento total possível: 95,4 m.
- Situação 2 (*espaçamento variado*): linha lateral com espaçamento inicial de 36 cm e final de 30 cm; comprimento total possível: 128,5 m.
- Situação 3 (*espaçamento único*): linha lateral com espaçamento inicial e final de 20 cm; comprimento total possível: 91,8 m.
- Situação 4 (*espaçamento único*): linha lateral com espaçamento inicial e final de 30 cm; comprimento total possível: 124,2 m.

Desta maneira, haveria um ganho de 3,6 m de linha lateral se compararmos as *Situações 1 e 3*, e de 4,3 m de linha lateral na comparação das *Situações 2 e 4*. Além da diminuição de custos no dimensionamento do projeto, existe uma diminuição significativa nos custos de produção da mangueira gotejadora, já que o aumento do espaçamento entre emissores nas seções iniciais proporciona a utilização de menos emissores por metro de mangueira. Seria possível, neste caso, a fabricação de linhas laterais de espaçamento variado a um custo ainda menor que linhas laterais convencionais, de espaçamento único.

5.3.3 Caracterização dos bulbos de irrigação

Os bulbos de irrigação (Figura 10) foram avaliados em três momentos diferentes, a saber: M_0 (imediatamente após término das irrigações), M_1 (1 hora após o término das irrigações) e M_2 (2 horas após o término das irrigações).

Para caracterização dos bulbos de irrigação, foram retiradas amostras para análise gravimétrica do solo na direção da linha lateral (eixo X) e na direção perpendicular a linha lateral de irrigação (eixo Y), a partir de um gotejador adotado como referência (Figura 11), na terceira semana de desenvolvimento da cultura, no Ciclo 1.



Figura 10. Formação dos bulbos úmidos.

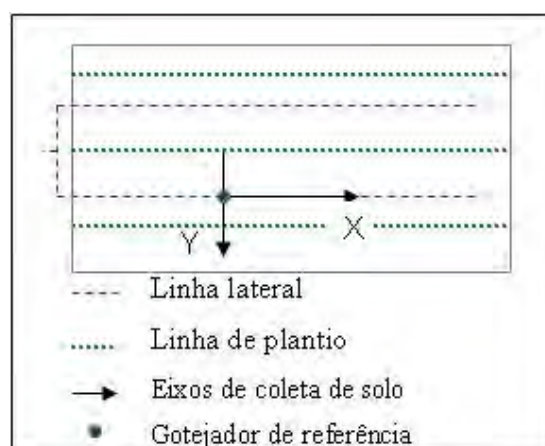


Figura 11. Sentido de coleta de solo para análise gravimétrica

Na direção de Y, as amostras foram retiradas a partir da linha central de plantio, em seis pontos, para todos os tratamentos:

- Ponto 1: na linha de plantio
- Ponto 2: a 10 cm da linha de plantio
- Ponto 3: a 20 cm da linha de plantio, coincidente com o emissor de referência.
- Ponto 4: a 30 cm da linha de plantio
- Ponto 5: a 40 cm da linha de plantio
- Ponto 6: a 50 cm da linha de plantio

Na direção de X, o número de pontos amostrados e a distância entre eles variaram de acordo com o espaçamento entre os emissores do tratamento, de maneira que sempre se iniciassem no ponto 3 do eixo Y e que o último ponto amostrado obrigatoriamente coincidisse com o emissor seguinte da linha lateral. Dessa maneira, os pontos amostrados foram:

- Espaçamento de 20 cm (3 pontos amostrados): ponto inicial, a 10 cm e a 20 cm do ponto inicial.
- Espaçamento de 24 cm (4 pontos amostrados): ponto inicial, a 8 cm, a 16 cm e a 24 cm do ponto inicial.
- Espaçamento de 30 cm (4 pontos amostrados): ponto inicial, a 10 cm, a 20 cm e a 30 cm do ponto inicial.
- Espaçamento de 36 cm (5 pontos amostrados): ponto inicial, a 9 cm, a 18 cm, a 27 e a 36 cm do ponto inicial.

Em cada ponto amostrado foram retiradas amostras de solo em 4 profundidades: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm. Por tratar-se de amostragens destrutíveis, a retirada de amostras nos tempos M_0 , M_1 e M_2 ocorreu em três emissores de referência da mesma parcela, o mais próximo possível e em condições iguais de funcionamento.

As amostras foram coletadas com o auxílio de um trado e imediatamente pesadas para obtenção do peso úmido. Posteriormente, as amostras foram secas

em estufa 105°C até apresentarem peso constante, para obtenção dos valores de umidade gravimétrica, no Laboratório de Relações Água - Solo do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP – Botucatu.

Os gráficos que caracterizam os bulbos de irrigação foram elaborados com o programa SURFER 8.0, a partir dos valores gravimétricos obtidos em campo. Para cada tratamento avaliado, elaborou-se um gráfico representativo do eixo X e um representativo do eixo Y, em cada tempo de irrigação considerado (M_0 , M_1 e M_2).

5.4 Condução da cultura

Utilizou-se sementes peletizadas de rabanete híbrido F1 n°19, da empresa Sakata Seed Sudamerica LTDA, de ciclo total de até 5 semanas. As sementes foram realizadas manualmente, com desbaste após aproximadamente uma semana (Figuras 12 e 13).

Cada parcela foi composta por um canteiro de 1 m de largura por 5 m de comprimento, contendo três fileiras de plantas espaçadas de 0,20 m entre linhas e aproximadamente 0,09 m na linha, condizente com as medidas utilizadas por produtores para esta cultivar. Os canteiros foram espaçados por 0,6 m de rua, para facilitar o manejo da cultura.

Foram consideradas como plantas úteis, para efeito dos parâmetros avaliados, apenas aquelas da fileira central de plantas, descartando-se ainda a primeira e última planta desta fileira. Portanto, cada parcela contou com aproximadamente 53 plantas úteis, sendo as demais consideradas bordadura.

Dois ciclos consecutivos foram avaliados durante o experimento. A semeadura do *Ciclo 1* ocorreu no dia 16 de janeiro de 2008 e a colheita foi realizada em 14 de fevereiro de 2008, totalizando 28 dias de cultura. A semeadura do *Ciclo 2* ocorreu no dia 15 de fevereiro de 2008 e a colheita foi realizada em 19 de março de 2008, totalizando 33 dias de cultura.



Figuras 12 e 13: Germinação de plântulas de rabanete após semeadura direta nos canteiros.

Uma amostra inicial de solo foi coletada para determinação de suas características físicas e químicas (macro e micronutrientes) na profundidade de 0-20 cm, referente à profundidade efetiva de raiz da cultura. A análise química foi realizada pelo Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais da FCA/UNESP - Botucatu, segundo metodologia proposta por Van Raij et al. (2001). A análise física foi realizada pelo Laboratório de Física do Solo do mesmo departamento, segundo metodologia proposta por Claessen et al. (1997). Baseando-se nos resultados dessas análises e segundo recomendações de Van Raij et al. (1997), foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de termofosfato máster, 150 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 50 t ha⁻¹ de fertilizante orgânico composto, incorporados ao solo no momento de formação dos canteiros, com o auxílio de um roto-encanteirador. Não houve necessidade de adubação de cobertura devido ao curto ciclo da cultura e das condições de fertilidade do solo após adubação de plantio.

Após adubação, nova amostra foi coletada para caracterização das condições físico-químicas do solo no momento da semeadura e o resultado dessas análises pode ser observado nas Tabelas 4 a 6.

Tabela 4. Resultado das análises físicas do solo da área experimental.

Profundidade (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)			Textura do solo	Densidade do solo (g cm ⁻³)
	Areia	Silte	Argila		
0-20	900	27	71	Arenosa	1,36

Tabela 5. Resultado das análises químicas do solo da área experimental (macronutrientes).

pH	M.O.	P _{resina}	H + Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						
7,0	12	58	8	2,6	36	10	49	57	85

Tabela 6. Resultado das análises químicas do solo da área experimental (micronutrientes).

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
mg dm ⁻³				
0,30	1,0	14	11,6	8,6

A escarificação dos canteiros e o controle de ervas daninhas foram realizados manualmente, ao menos uma vez por semana. Todos os cuidados fitossanitários foram devidamente tomados, com a aplicação de defensivos agrícolas quando necessário, principalmente na prevenção e combate à mosca-branca e ao pulgão, presentes em grande quantidade na fazenda e que representavam um risco para o ideal desenvolvimento da cultura.

5.5 Parâmetros avaliados

5.5.1 Parâmetros físicos

Todas as plantas úteis de cada parcela foram pesadas para obtenção dos resultados de matéria fresca total, matéria fresca por metro linear, matéria seca total, e matéria seca por metro linear, à exceção de três plantas úteis utilizadas na avaliação dos parâmetros químicos e físico-químicos. As raízes de rabanete foram colhidas, separadas da parte aérea, lavadas e pesadas para a determinação da matéria fresca, utilizando-se uma balança digital instalada no próprio local (Figura 14). Após a determinação do peso de matéria fresca, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel identificados e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até obterem peso constante, para a determinação do peso de matéria seca.

Devido à perda de algumas plantas durante o ciclo e à utilização da semeadura direta, nem todas as parcelas apresentaram exatamente o mesmo número de plantas úteis no momento da colheita. Desta maneira, na determinação de matéria fresca e seca por

metro linear optou-se pela utilização dos pesos médios por planta multiplicados pelo número de plantas pertencente a um metro de plantio, em cada tratamento.

Para obtenção do diâmetro médio das raízes de rabanete foram medidos os diâmetros longitudinais e transversais de 3 plantas por parcela, com o auxílio de um paquímetro digital STARRET 727 (Figura 15).



Figura 14. Pesagem de matéria fresca em balança digital.



Figura 15. Obtenção do diâmetro de rabanete com paquímetro digital.

5.5.2 Parâmetros químicos e físico-químicos

Em cada parcela experimental foram coletadas 3 plantas para análise dos parâmetros químicos e físico-químicos, num total de 72 plantas avaliadas. As amostras foram coletadas e imediatamente encaminhadas para análise no Laboratório de Frutas e Vegetais do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial da FCA/UNESP - Botucatu, para determinação dos seguintes parâmetros:

- **Firmeza (“textura”):** foi determinada com o auxílio de um texturômetro STEVENS LFRA Texture Analyser, ponta de prova A 9/1000, com velocidade de $2,0 \text{ mm s}^{-1}$ e profundidade de penetração de 20 mm. As leituras foram realizadas na região equatorial de frutos inteiros e com casca, com resultados expressos em grama-força.

- **Acidez Titulável (AT):** o conteúdo de acidez titulável, expresso em porcentagem de ácido málico, foi determinado conforme as normas padrões do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 1985).
- **Teor de sólidos solúveis (SS):** os resultados foram expressos em °Brix e foram obtidos pela utilização de refratômetro digital ATAGO PR300, segundo recomendação da A.O.A.C. (1992).
- **Ácido ascórbico:** os resultados foram expressos em miligramas de ácido ascórbico por 100 gramas de polpa fresca, segundo metodologia adquirida pela internet no endereço eletrônico <http://www.bevtech.com.br/InfoTec/Sorbato.htm>.

5.5.3 Análise dos bulbos de irrigação

A avaliação dos bulbos de irrigação pode evidenciar a tendência de caminhamento da água no solo e de que maneira ocorre a sobreposição de bulbos na desejável formação de um faixa úmida.

Em cada tratamento foram feitas avaliações em 3 momentos após a irrigação, em duas direções (ver item 5.3.3), resultando em 6 gráficos por tratamento, num total de 36 gráficos. Na elaboração desses gráficos fez-se necessária a fixação de alguns valores para que se padronizassem as figuras, facilitando a comparação entre elas. Os valores de umidade do solo com base em volume foram limitados a 32% (valor máximo verificado no trabalho). A mesma relação entre cores e valores de umidade foi utilizada em todas as figuras. Se em determinado gráfico, por exemplo, a cor amarela correspondeu a 12% de umidade do solo, em outro gráfico, independente de qualquer escala, essa cor representou o mesmo valor de umidade. A partir dessa padronização foi possível visualizar e comparar o comportamento da água aplicada ao solo entre os tratamentos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Bulbos de irrigação

As Figuras 16 a 18 representam os valores de umidade do solo com base em volume, nos momentos M_0 , M_1 e M_2 , para a direção X de cada tratamento proposto. Nesta direção de coleta, observou-se de que maneira a água aplicada se distribuiu no solo, na região compreendida entre dois emissores consecutivos da linha lateral.

Nos tratamentos 1, 2, 4, 5 e 6 houve boa distribuição da água aplicada ao solo, sendo que a maior parte da região compreendida entre os emissores apresentou valores de umidade do solo, no mínimo, dentro da faixa de água disponível à cultura (valores acima do ponto de murcha permanente, 12,14%, representado nos gráficos pela escala de amarelo). Nestes tratamentos os menores valores de umidade do solo foram verificados nas camadas mais profundas. Em alguns casos, como nos tratamentos 1, 2 e 5, verificou-se valores próximos ao ponto de murcha permanente; no entanto, estes baixos valores de umidade foram constatados em camadas abaixo da profundidade efetiva da cultura (Z: 20 cm), região de maior absorção de água e nutrientes pela planta.

No tratamento 3 foram observadas regiões de solo com umidade muito baixa, inferior ao ponto de murcha permanente. Nesse caso, diferentemente dos demais tratamentos, as regiões mais secas não se concentraram apenas abaixo da profundidade efetiva da cultura; após uma hora (M_1) e duas horas (M_2) da irrigação, observou-se regiões de baixa umidade distribuídas em quase todas as profundidades avaliadas, desde a superfície,

principalmente na região central entre os emissores. Esse tratamento representa a seção inicial de uma linha lateral com emissores espaçados a 36 cm. Este foi o maior espaçamento entre emissores utilizado e evidencia que, nesse caso, a água não se distribuiu de maneira adequada ao solo, ainda que a lâmina de irrigação aplicada tenha sido a mesma. Portanto, ainda que as vazões sejam iguais entre a seção inicial e final da linha lateral, deve-se considerar que o espaçamento máximo entre emissores é limitado pelas características físicas do solo, para que ocorra sobreposição dos bulbos.

A forma e diâmetro dos bulbos úmidos dependem do equilíbrio de forças gravitacionais e capilares e está relacionada, entre outros fatores, à quantidade de água aplicada e à textura do solo. Em solos arenosos os bulbos úmidos tendem a ter um diâmetro menor que em solos argilosos, diminuindo a distância máxima entre emissores para que ocorra sobreposição de bulbos. Segundo Bernardo et al. (2006) e Reichardt & Timm (2004), em solos argilosos o potencial gravitacional torna-se importante apenas depois de certo tempo, sendo que inicialmente a água avança em todas as direções com a mesma velocidade. Em solos arenosos, o potencial gravitacional atua logo após início da irrigação e o movimento vertical, de cima para baixo, passa a ser o principal componente do potencial total de água no solo.

Exemplo disso são os trabalhos desenvolvidos para determinação do diâmetro de bulbo molhado e do espaçamento máximo entre emissores. Hung (1995) calculou o espaçamento máximo entre emissores, em função do tipo de solo para emissores de 2 L.h^{-1} e relatou espaçamentos máximos de 0,3, 0,6 e 1,0 m, respectivamente, para solos arenosos, médios e argilosos. Karmeli & Keller (1975) avaliaram diâmetro de bulbo molhado para emissores de 4 L h^{-1} em solos homogêneos e citam valores 0,5, 0,9 e 1,1 m de diâmetro para solos arenosos, médios e argilosos, respectivamente. Em ambos os trabalhos, os diâmetros de bulbo molhado foram menores em solos arenosos que em solos argilosos, evidenciando a importância da textura do solo na forma de distribuição de água após irrigação.

As Figuras 19 a 21 representam os valores de umidade do solo com base em volume, nos momentos M_0 , M_1 e M_2 , para a direção Y de cada tratamento proposto, ou seja, perpendicular à linha lateral. Os gráficos seguem tendências semelhantes em todos os tratamentos e observa-se claramente a formação dos bulbos de irrigação, a partir de um único emissor.

Para todos os tratamentos, à exceção do Tratamento 2, verificou-se maior tendência de infiltração de água no sentido vertical (em profundidade) que no sentido horizontal, provavelmente devido à textura arenosa do solo. No Tratamento 2, principalmente duas horas após a irrigação (M_2), observa-se que a água não avançou para as camadas mais profundas do solo, sendo que valores de umidade muito baixos foram verificados em profundidades de menos de 15 cm, logo abaixo do emissor. Acredita-se que essa tendência, incomum às demais, tenha sido causada por uma camada de solo compactado ou algum obstáculo natural, pois observa-se claramente que a água avança em profundidade em apenas um dos lados do emissor.

De maneira geral, avaliando-se os bulbos de irrigação nas direções X e Y, quase todos os tratamentos apresentaram tendências semelhantes de distribuição de água no solo; apenas o tratamento 3 apresentou áreas de déficit hídrico na profundidade efetiva de raízes, justamente no maior espaçamento entre emissores avaliado.

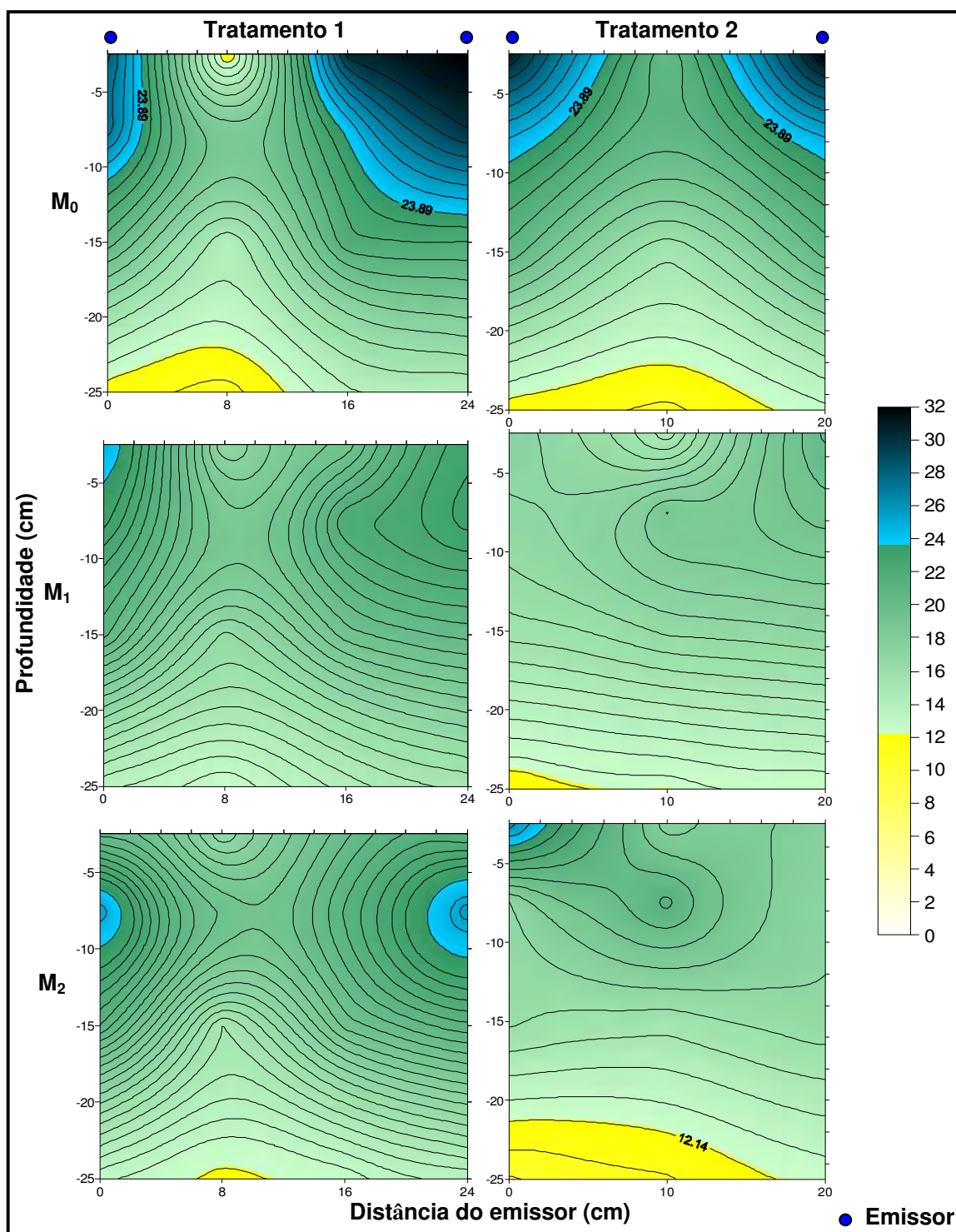


Figura 16. Representação gráfica da umidade do solo na direção X dos tratamentos 1 e 2 com base em % de volume, imediatamente após irrigação (M₀), uma hora (M₁) e duas horas (M₂) depois.

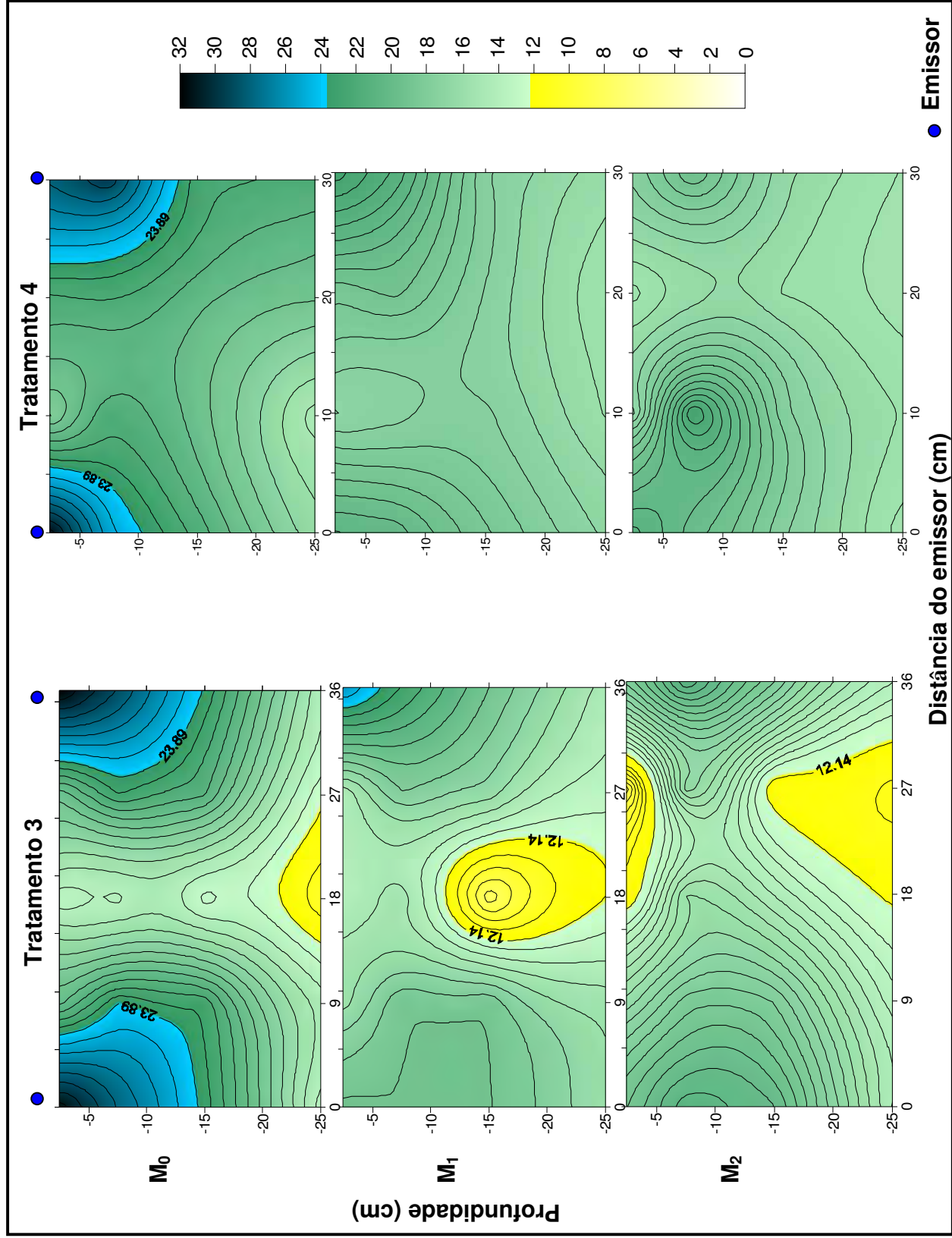


Figura 17. Representação gráfica da unidade do solo na direção X dos tratamentos 3 e 4 com base em % de volume, imediatamente após irrigação (M₀), uma hora (M₁) e duas horas (M₂) depois.

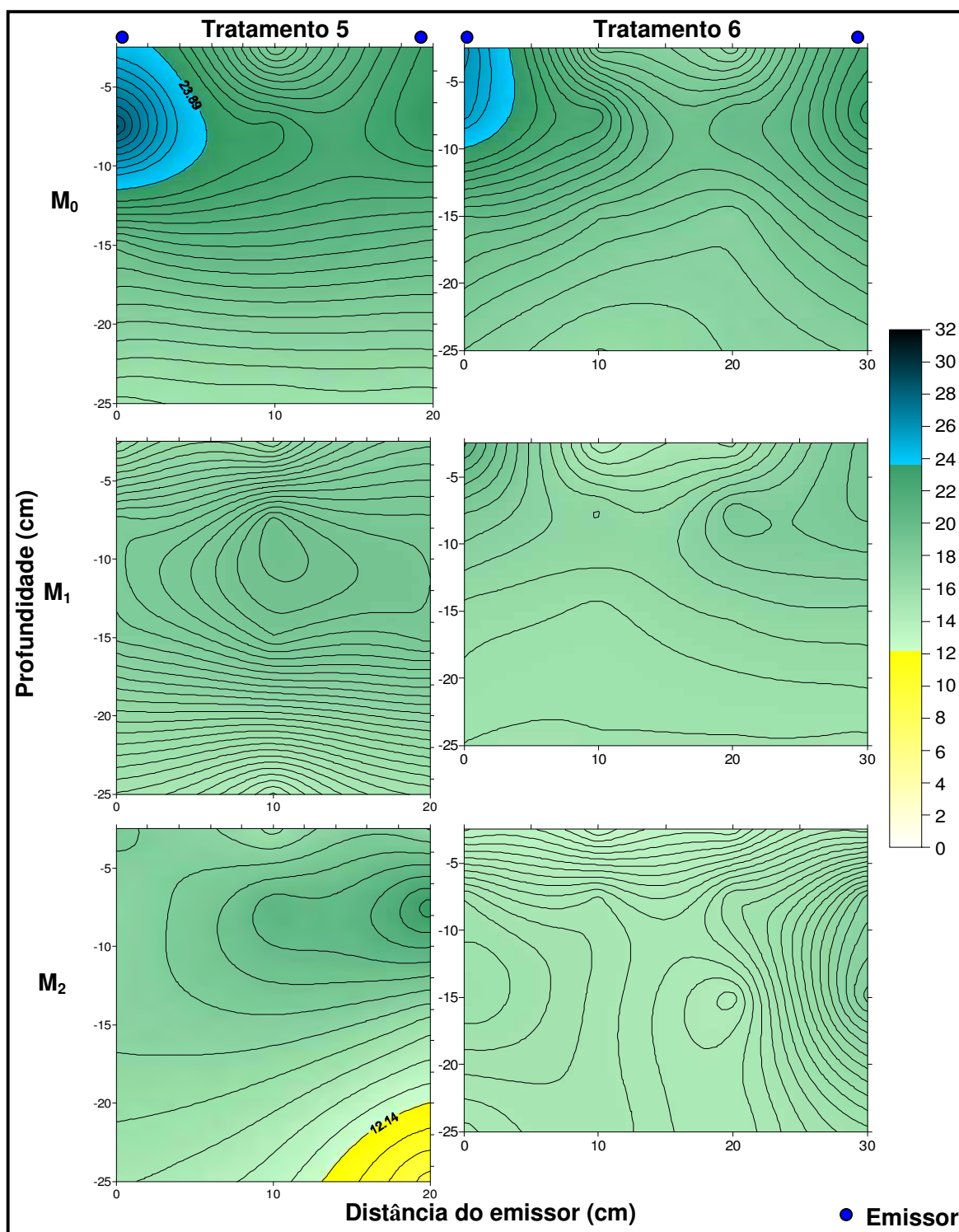


Figura 18. Representação gráfica da umidade do solo na direção X dos tratamentos 5 e 6 com base em % de volume, imediatamente após irrigação (M_0), uma hora (M_1) e duas horas (M_2) depois.

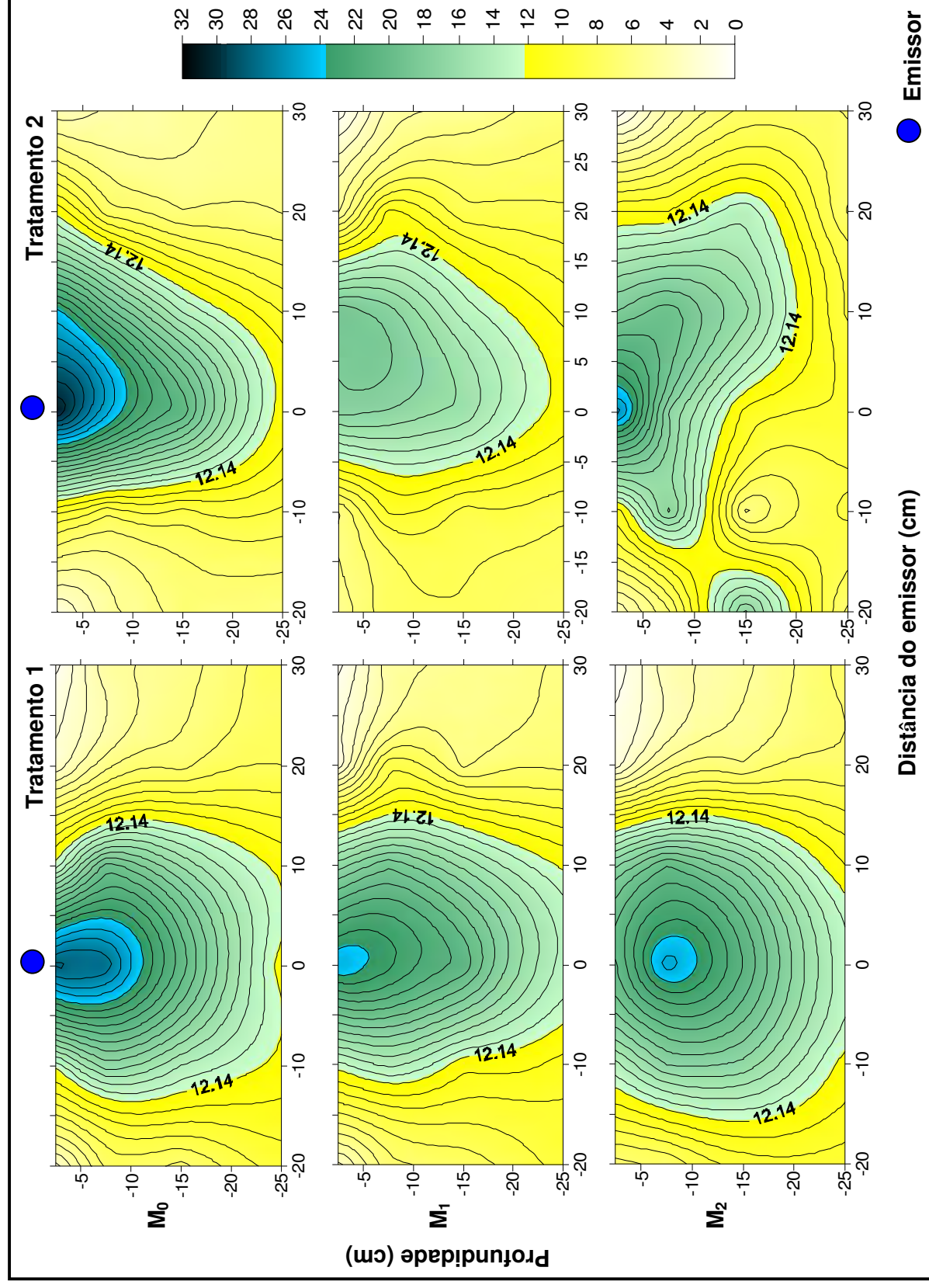


Figura 19. Representação gráfica da umidade do solo na direção Y dos tratamentos 1 e 2, com base em % de volume, imediatamente após irrigação (M₀), uma hora (M₁) e duas horas (M₂) depois.

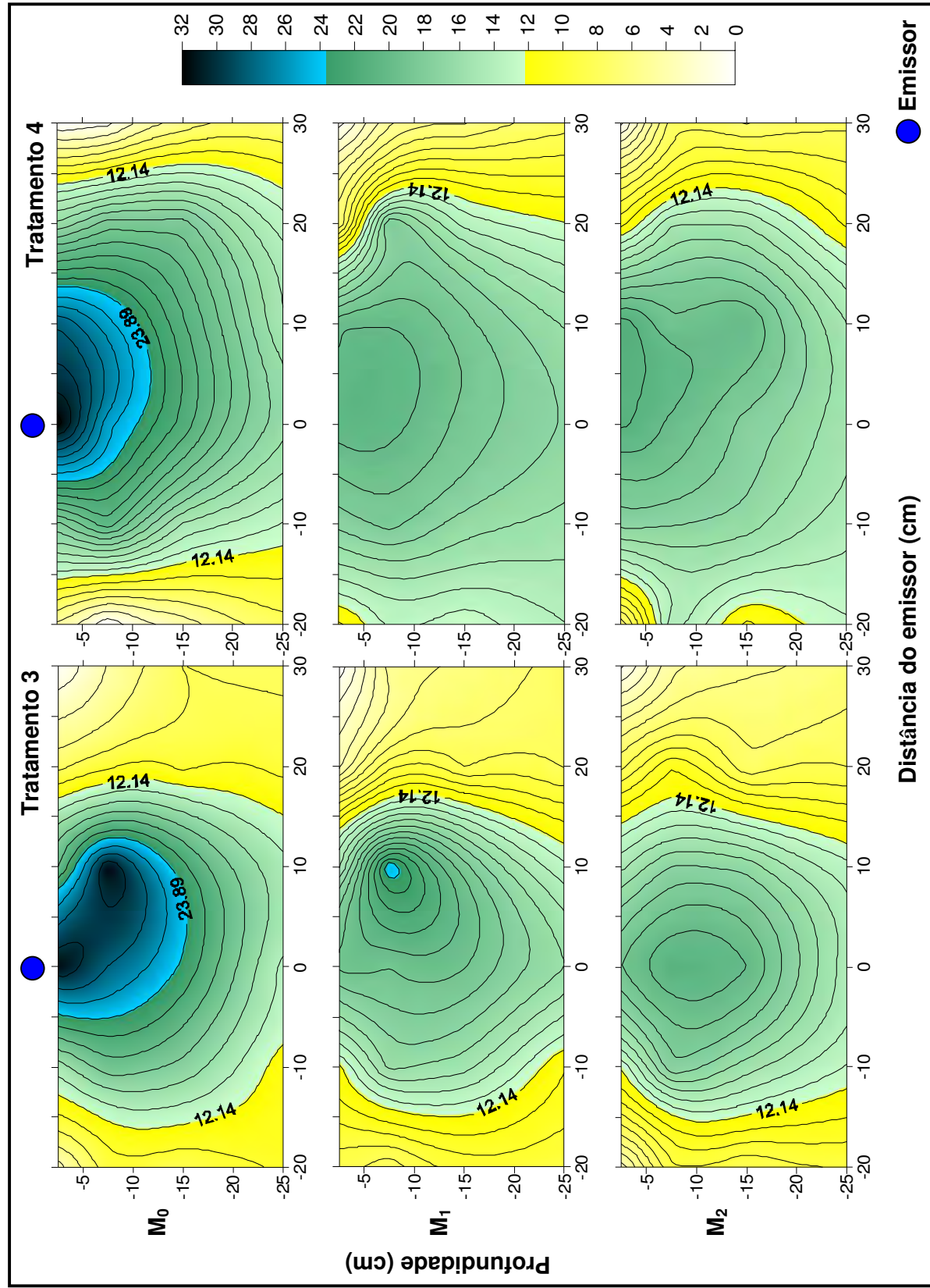


Figura 20. Representação gráfica da unidade do solo na direção Y dos tratamentos 3 e 4, com base em % de volume, imediatamente após irrigação (M_0), uma hora (M_1) e duas horas (M_2) depois.

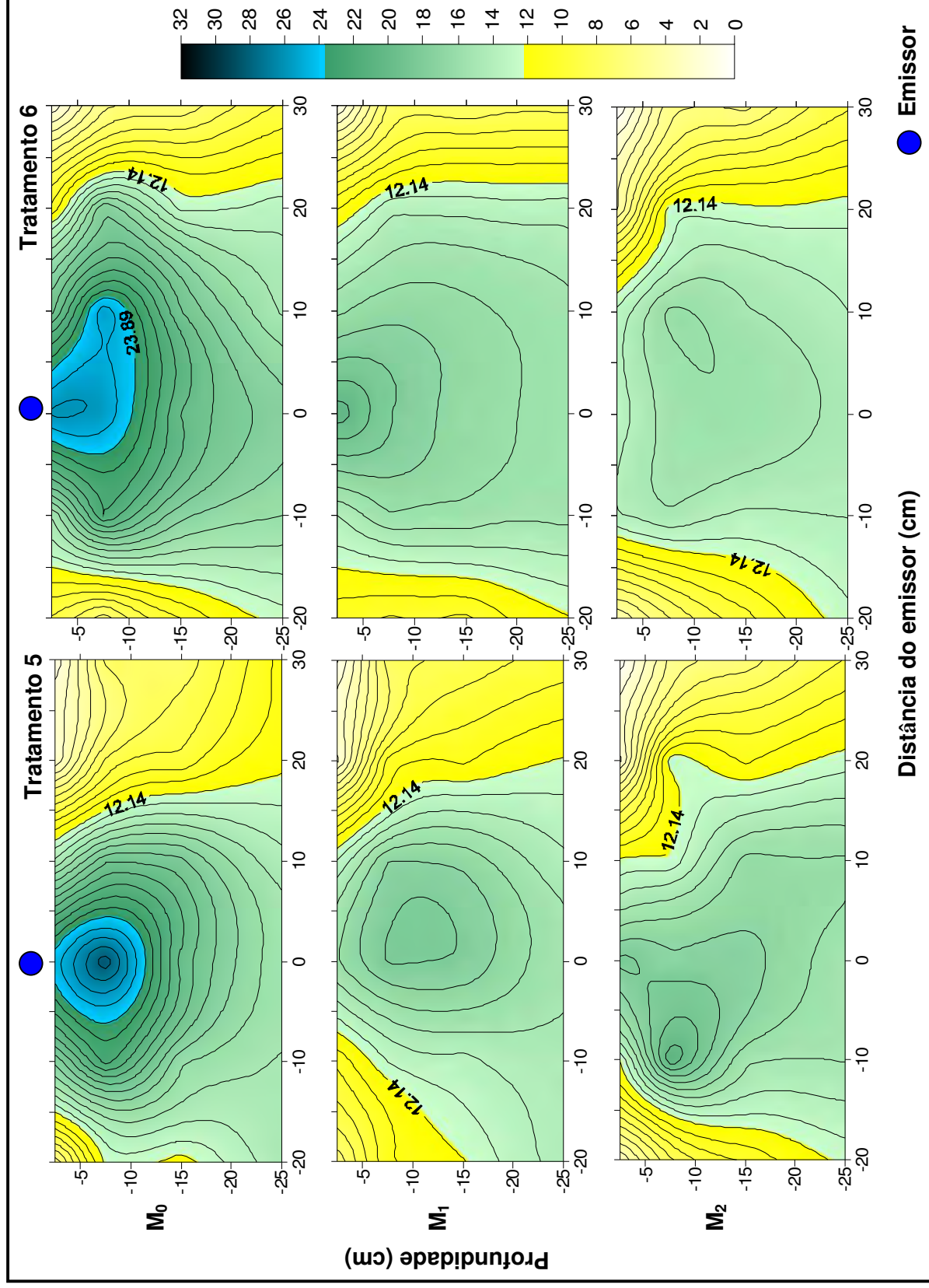


Figura 21. Representação gráfica da unidade do solo na direção Y dos tratamentos 5 e 6 com base em % de volume, imediatamente após irrigação (M₀), uma hora (M₁) e duas horas (M₂) depois.

6.2 Avaliação I: comparação entre inícios e finais de linha lateral

6.2.1 Parâmetros físicos

Os valores obtidos de parâmetros físicos podem ser verificados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente para os Ciclos 1 e 2.

Tabela 7. Valores de peso de matéria fresca total, matéria fresca por metro linear, matéria seca total, matéria seca por metro linear e diâmetro de rabanete, entre tratamentos, no ciclo 1.

Tratamento	Matéria fresca total (g)	Matéria fresca por metro linear (g m ⁻¹)	Matéria seca total (g)	Matéria seca por metro linear (g m ⁻¹)	Diâmetro (mm)
1	845.00 a	221.19 a	37.4675 a	9.8800 a	34,33 a
2	1106.00 a	245.96 a	44.3150 a	9.8500 a	35,95 a
3	944.00 a	206.18 a	44.1625 a	9.7325 a	34,60 a
4	946.00 a	231.53 a	38.7475 a	9.6050 a	35,48 a
5	936.75 a	235.61 a	38.9375 a	9.8925 a	35,45 a
6	1055.50 a	265.22 a	39.4750 a	9.8475 a	36,34 a
CV (%)	22.04	13.97	18.90	13.03	4,53

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Tabela 8. Valores de peso de matéria fresca total, matéria fresca por metro linear, matéria seca total, matéria seca por metro linear e diâmetro de rabanete, entre tratamentos, no ciclo 2.

Tratamento	Matéria fresca total (g)	Matéria fresca por metro linear (g m ⁻¹)	Matéria seca total (g)	Matéria seca por metro linear (g m ⁻¹)	Diâmetro (mm)
1	857,00 a	205,11 a	41,1425 a	9,1900 a	32,82 a
2	954,50 a	202,00 a	33,0125 a	7,0400 a	33,56 a
3	962,25 a	246,31 a	41,5075 a	10,4675 a	35,26 a
4	1285,00 a	256,05 a	50,6650 a	9,9700 a	33,50 a
5	859,00 a	190,96 a	34,6350 a	7,7175 a	33,68 a
6	1061,00 a	253,48 a	45,4275 a	10,8875 a	34,55 a
CV (%)	31,52	22,13	35,48	20,51	6,63

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Os resultados observados nas Tabelas 7 e 8 mostram que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% para os parâmetros físicos avaliados, em ambos os ciclos da cultura. Assim, os resultados foram estatisticamente iguais entre todas as seções iniciais e finais avaliadas, independentemente do espaçamento entre emissores e da pressão utilizada.

A partir dos valores de matéria fresca total foram obtidos os pesos frescos médios, dividindo-se o valor total pelo número de plantas avaliadas. Os valores de peso médio por planta obtidos foram de 20,16 g e 20,93 g, respectivamente para os ciclos 1 e 2. Esses valores são superiores àqueles relatados por Pereira et al. (1999), que citam valores médios de peso fresco de 16,07 g e 12,27 g, respectivamente para níveis de reposição de água equivalentes a 100% e 60% da capacidade de campo. No entanto, são inferiores aos obtidos por Torres et al. (2003), que citam valores médios variando de 22,04 g a 28,63 g em estudo sobre o efeito da densidade de plantio na cultura. Os mesmos autores relatam ainda valores de diâmetro médio de 31,49 mm a 33,57 mm. Esses valores de diâmetro são inferiores aos obtidos no primeiro ciclo da cultura, mas muito próximos aos valores obtidos no ciclo 2. Em campo é possível a obtenção de rabanetes com diâmetro e peso médio superior aos apresentados, estendendo-se em alguns dias o ciclo da cultura. No entanto, essa prática não é recomendada por aumentar o risco de rachaduras e isoporização nas raízes, diminuindo seu valor comercial.

6.2.2 Parâmetros químicos e físico-químicos

Os valores de firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis e ácido ascórbico podem ser observados nas Tabelas 9 e 10, respectivamente para os Ciclos 1 e 2.

Tabela 9. Valores de firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis e ácido ascórbico para rabanete, entre tratamentos, no ciclo 1.

Tratamento	Firmeza (grama-força)	Acidez titulável (% ácido málico)	Sólidos solúveis (°Brix)	Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)
1	424.67 a	0.0347 a	3.63 ab	27.30 ab
2	401.33 a	0.0317 a	3.70 ab	25.13 b
3	416.33 a	0.0293 a	3.30 b	26.67 ab
4	367.00 a	0.0330 a	3.97 a	27.30 ab
5	411.67 a	0.0343 a	4.13 a	28.57 a
6	406.00 a	0.0357 a	3.83 ab	27.67 ab
CV (%)	6.09	12.67	6.17	4.59

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Tabela 10. Valores de firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis e ácido ascórbico para rabanete, entre tratamentos, no ciclo 2.

Tratamento	Firmeza (gramas-força)	Acidez titulável (% ácido málico)	Sólidos solúveis (°Brix)	Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)
1	749,75 a	0.0416 a	3,98 a	25,40 a
2	686,75 a	0.0349 a	3,93 a	26,30 a
3	701,00 a	0.0335 a	3,95 a	24,08 a
4	666,50 a	0.0302 a	3,90 a	23,88 a
5	678,25 a	0.0402 a	3,95 a	23,78 a
6	643,50 a	0.0328 a	3,95 a	24,15 a
CV (%)	12,81	15,03	4,41	8,46

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Os resultados observados nas Tabelas 9 e 10 mostram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para os parâmetros firmeza e acidez titulável, em ambos os ciclos da cultura. Os teores de acidez obtidos no trabalho estão de acordo com Chitarra & Chitarra (1990), que afirmam que teores de acidez em frutas e hortaliças geralmente não excedem 2,0%, com raras exceções como no espinafre e limão, que podem conter teores maiores que 3%.

Os teores de sólidos solúveis foram diferentes entre si no ciclo 1, significativamente maiores em T4 e T5, respectivamente com 3,97 e 4,13 °Brix. Pereira et al. (1999), trabalhando com diferentes níveis de reposição da capacidade de campo, observaram teores de sólidos solúveis de 4,53, 4,04 e 3,95 °Brix, respectivamente, para níveis de reposição de 60%, 80% e 100%. Esses resultados mostram que o teor de sólidos solúveis aumenta proporcionalmente ao nível de estresse hídrico, indicando que a lâmina aplicada pode não ter sido suficiente para repor 100% da capacidade de campo em T4 e T5. No entanto, o mesmo manejo de irrigação foi adotado nos dois ciclos da cultura e não se observou, no ciclo 2, diferenças entre os teores de sólidos solúveis.

Na Tabela 9 observa-se que os teores de ácido ascórbico foram diferentes entre si apenas no ciclo 1, significativamente maiores em T5 em relação a T2. No entanto, pequenas variações nos teores de ácido ascórbico, como as observadas entre T5 e T2 (28,57 a 25,13 mg 100g⁻¹), são comuns pela metodologia utilizada na obtenção dos valores e, portanto, não podem ser atribuídas aos tratamentos propostos. Além disso, os teores observados em ambos os ciclos foram condizentes aos relatados na literatura, que variam de

22,45 a 28,00 mg 100g⁻¹ (AGUILA, 2004; CHITARRA & CHITARRA, 1990; FERSINI, 1976).

6.3 Avaliação II: comparação entre linhas laterais (*Situações*)

6.3.1 Parâmetros físicos

Os valores obtidos de parâmetros físicos podem ser observados nas Tabelas 11 e 12, respectivamente para os Ciclos 1 e 2.

Tabela 11. Valores de peso de matéria fresca total, matéria fresca por metro linear, matéria seca total, matéria seca por metro linear e diâmetro de rabanete, entre situações, no ciclo 1.

Tratamento (<i>Situação</i>)	Matéria fresca total (g)	Matéria fresca por metro linear (g m ⁻¹)	Matéria seca total (g)	Matéria seca por metro linear (g m ⁻¹)	Diâmetro (mm)
1	975,50 a	233,57 a	40,8912 a	9,8650 a	35,14 a
2	945,00 a	218,86 a	41,4550 a	9,6688 a	35,04 a
3	1021,38 a	240,78 a	41,6263 a	9,8713 a	35,70 a
4	1000,75 a	248,38 a	39,1113 a	9,7263 a	35,91 a
CV (%)	21,54	13,86	17,96	12,49	4,18

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Tabela 12. Valores de peso de matéria fresca total, matéria fresca por metro linear, matéria seca total, matéria seca por metro linear e diâmetro de rabanete, entre situações, no ciclo 2.

Tratamento (<i>Situação</i>)	Matéria fresca total (g)	Matéria fresca por metro linear (g m ⁻¹)	Matéria seca total (g)	Matéria seca por metro linear (g m ⁻¹)	Diâmetro (mm)
1	905,75 a	203,55 a	36,5775 a	8,1150 ab	33,19 a
2	1123,63 a	251,18 a	46,0863 a	10,2188 a	34,38 a
3	906,75 a	196,48 a	33,8238 a	7,3787 b	33,62 a
4	1173,00 a	254,77 a	48,0463 a	10,4288 a	34,02 a
CV (%)	31,23	19,54	34,30	20,68	5,88

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Os resultados observados na Tabela 11 mostram que não houve diferença significativa entre as situações para os parâmetros físicos avaliados no ciclo 1, mostrando que as linhas laterais de espaçamentos variados (Situações 1 e 3) apresentaram desempenho equivalente às linhas laterais de espaçamento único (Situações 2 e 4).

No ciclo 2, observou-se diferença significativa em peso de matéria seca por metro linear. Nas Situações 4 e 2 os valores de matéria seca por metro linear foram estatisticamente maiores que na Situação 3. De acordo com o item 5.2., a Situação 3 representa uma linha lateral de espaçamento único entre emissores de 20 cm; já as Situações 4 e 2 representam, respectivamente, uma linha lateral de espaçamento único entre emissores de 30 cm e uma linha com espaçamento variado, de 36 e 30 cm. Com base nesses dados, pode-se afirmar que linhas com espaçamento entre emissores de 30 cm, único ou variado, foram melhores que as linhas laterais de espaçamento único de 20 cm, para este parâmetro. No entanto, o mais importante em relação a estes dados, para todos os parâmetros avaliados, é que não foram observadas diferenças entre as Situações 1 e 3 e entre as Situações 2 e 4, já que trata-se de linhas de espaçamento variado comparadas a seus respectivos tratamentos controle.

Em relação ao diâmetro, as Situações 2, 3 e 4 obtiveram valores superiores aos diâmetros obtidos por Torres et al. (2003), que variaram de 31,49 a 33,57 mm; a Situação 1 foi estatisticamente igual às demais e apresentou diâmetro médio de 33,19, dentro da faixa de valores citada pelos autores.

6.3.2 Parâmetros químicos e físico-químicos

Os valores de firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis e ácido ascórbico podem ser observados nas Tabelas 13 e 14, respectivamente para os Ciclos 1 e 2.

Tabela 13. Valores de firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis e ácido ascórbico para rabanete, entre situações, no ciclo 1.

Tratamento (Situação)	Firmeza (grama-força)	Acidez titulável (% ácido málico)	Sólidos solúveis (°Brix)	Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)
1	413,00 a	0,0332 a	3,67 a	26,22 a
2	391,67 a	0,0312 a	3,63 a	26,98 a
3	406,50 a	0,0330 a	3,92 a	26,85 a
4	386,50 a	0,0343 a	3,90 a	27,48 a
CV (%)	7,47	11,63	7,97	5,84

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Tabela 14. Valores de firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis e ácido ascórbico para rabanete, entre situações, no ciclo 2.

Tratamento (Situação)	Firmeza (grama-força)	Acidez titulável (% ácido málico)	Sólidos solúveis (°Brix)	Ácido ascórbico (mg 100g ⁻¹)
1	718,25 a	0,0382 a	3,95 a	25,85 a
2	683,75 a	0,0318 a	3,93 a	23,98 a
3	682,50 a	0,0375 a	3,94 a	25,04 a
4	655,00 a	0,0315 a	3,93 a	24,01 a
CV (%)	12,54	16,85	4,27	8,57

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5%.

Os resultados observados nas Tabelas 13 e 14 mostram que não houve diferença significativa entre as situações para todos os parâmetros avaliados, em ambos os ciclos da cultura.

Assim como na Avaliação I, os teores de acidez obtidos no trabalho estão de acordo com Chitarra & Chitarra (1990), inferiores a 2,0%.

Os teores de sólidos solúveis foram iguais ou inferiores aos apresentados por Pereira et al. (1999), de 3,95 °Brix, para níveis de reposição da capacidade de campo de 100%, indicando que não ocorreu déficit hídrico em nenhuma das situações avaliadas.

Os teores de ácido ascórbico observados em ambos os ciclos estiveram dentro da faixa de valores relatados na literatura, que variam de 22,45 a 28,00 mg 100g⁻¹ (AGUILA, 2004; CHITARRA & CHITARRA, 1990; FERSINI, 1976).

Com base nos dados obtidos, pode-se afirmar que a utilização de linhas laterais de espaçamento variado ou de espaçamento único não teve efeito sobre a qualidade do produto, para os parâmetros avaliados.

7 CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, pode-se concluir que:

- Não houve diferença significativa entre os segmentos iniciais e finais das linhas laterais no Ciclo 1, para os parâmetros matéria fresca total, matéria fresca por metro linear, matéria seca total, matéria seca por metro linear, diâmetro de rabanete, firmeza e acidez titulável, sendo significativamente diferentes apenas nos parâmetros sólidos solúveis e ácido ascórbico. No Ciclo 2, no entanto, não foram verificadas diferenças para todos os parâmetros avaliados.
- Não houve diferença significativa entre as linhas laterais de espaçamento variado e linhas laterais de espaçamento único, para todos os parâmetros avaliados no Ciclo 1. No Ciclo 2, foram verificadas diferenças apenas no peso de matéria seca por metro linear.
- O uso de diferentes espaçamentos entre gotejadores na mesma linha lateral, que permite aumentar o comprimento da linha e diminuir seu custo de fabricação por metro de mangueira, não apresentou diferença significativa para a maioria dos parâmetros e pode ser considerada uma técnica viável para a irrigação por gotejamento.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILA, J. S. **Processamento mínimo de rabanete:** estudos físico-químicos, fisiológicos e microbiológicos. 2004. 123 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ANDRADE, L. A. de. **Estudo de dois espaçamentos entre gotejadores na mesma lateral e sua influência na uniformidade de aplicação de água.** 2008. Projeto de pesquisa (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. *não publicado*.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de irrigação por aspersão pivô central:** caracterização de desempenho. (Projeto 12:02.08-005). São Paulo, 1985.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists:** fruits and fruits products. Washington, cap.22, p. 359-373, 1992.

BENAMI, A.; OFEN, A. **Irrigation engineering:** sprinkler, trickle, surface irrigation, principles, design and agricultural practices. Haifa: IESP, 1984.

BERNARDO, S.; SOARES, A. V.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recursos hídricos no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/srh/>>. Acesso em 12 mai. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual Consumo Sustentável: água**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/srh/>>. Acesso em 14 mai. 2007.

BROWN, L.R.; RENNER, M.; HALWEIL, B. **Sinais Vitais 2000**: as tendências ambientais que determinarão nosso futuro. Salvador: UMA, 2000. 196p.

CARDOSO, A I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 328-331, nov. 2001.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**: fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Revista ITEM**, Brasília, n. 54, p. 46-55, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos Hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. **Revista ITEM**, Brasília, n. 69/70, p. 87-97, 2006.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

COSTA, C. C.; OLIVEIRA, C. D.; SILVA, C. J.; TIMOSSI, P. C.; LEITE, I. C. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 118-122, 2006.

ENCISO, J.; JIFON, J.; WIEDENFELD, B. Subsurface drip irrigation of onions: effects of emitter spacing and drip depth on yield. ASABE: St. Joseph, Paper n. 052242, Tampa, 6 p. 2005. (Written for presentation at the 2005 ASAE Annual International Meeting).

FAO. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Irrigation and Drainage Paper n. 47. Roma, Itália: FAO, 1992. 125 p.

FERSINI, A. **Horticultura práctica**. México: Diana, 1976. 39p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FRIZZONE, J. A.; VIEIRA, A. T.; PAZ, V. P. S.; BOTREL, T. A. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 278-283, 1998.

HERNANDES, F. B. T. **Efeitos da supressão hídrica nos aspectos produtivo e qualitativo da cultura do melão**. 1995. 74 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

HORTON, R.; BEESE, F.; WIERENGA, P. J. Physiological response of Chile pepper to trickle irrigation. **Agronomic Journal**, v. 74, p. 551-555, 1982.

HUNG, J. Y. T. Determination of emitter spacing and irrigation run time including plant root depth. In: International Microirrigation Congress, 5., 1995, Orlando. **Proceedings** .. St Joseph: ASAE, 1995. p 292-298.

KANG, Y.; WAN, S. Effect of soil water potential on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and water use under drip irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 106, p. 275-292, 2005.

KANO, Y.; FUKUOKA, N. Effects of soil temperature on hollowness in Japanese radish (*Raphanus sativus* L. cv. 'Gensuke'). **Scientia Horticulturae**, v. 61, p. 157-166, 1995.

KARMELI, D.; KELLER, J. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avi Book, 1990. 652 p.

KLAR, A. E. Critérios para escolha do método de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 5, n. 1, p. 52-82, 2000.

KRAMER, P. J. **Plant and soil water relationship: a modern synthesis**. New York: Mc-Graw Hill, 1969. 482p.

LEITE, I. C. **Estudos ecológicos de *Raphanus sativus* L. cv. Crimson Giant no efeito do comportamento térmico do solo**. 1976. 122 f. Monografia - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1976.

LI, J.; ZHANG, J.; LI, B. Drip irrigation design based on wetted soil geometry and volume from o surface point source. ASABE: St. Joseph, Paper n. 042245, Ontario, 15 p. 2004. (Written for presentation at the 2004 ASAE Annual International Meeting).

MACEDO, J. A. B. **Águas e águas**. São Paulo: Varela, 2001. 505p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2007. 358p.

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

OLIVEIRA A. S; COELHO, E. F. Irrigação e recursos hídricos. **EMBRAPA**, 20 jun. 2000. disponível em : <<http://www23.sede.embrapa.br:8080/aplic/rumos.nsf/b1bbbc852ee1057183256800005ca0ab/5e5a2c2527a9ac00832569040045c363?OpenDocument>>. Acesso em 13 mai. 2008.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-84.

PEREIRA, A. J.; BLANK, A. F.; SOUZA, R. J.; OLIVEIRA, P. M.; LIMA, L. A. Efeito dos níveis de reposição e frequência de irrigação sobre a produção e qualidade do rabanete. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 117-120, 1999.

PINAZZA, L. A.; ALIMANDRO, R. **Reestruturação do agribusiness brasileiro: agronegócios no terceiro milênio**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Agribusiness, 1999. 280p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C.; **Solo, planta e atmosfera**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.) **Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison, ASASSA, 1965. p. 128-152.

SANDERS, D. C. **Vegetable crop irrigation**. Horticulture information leaflet 33-E, North Carolina Cooperative Extension Service. North Carolina State University, 1997.

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras (*Bactris gasipaes* H.B.K.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003. CD-ROM.

SCHWARTZMAN, M.; ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal of irrigation and drainage engineering**, v. 112, n. 3, p. 242-253, 1986.

SEGOVIA, J. F. O., LOPES FILHO, R. P. **Irrigação de hortaliças no Estado do Amapá**. Macapá: EMBRAPA Amapá, 2004. 13 p. (Circular Técnica, 33).

TORRES, C. A. S.; REBOUÇAS, T. N. H.; SIQUEIRA, L. G.; SILVA, J. C. G.; AMORIM, C. H. F.; CARDOSO, N. S. Avaliação da densidade de plantio sobre a produção e diâmetro de rabanete. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, 2003. Suplemento CD-ROM.

Van RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 285 p.

Van RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1995. 240 p.