

GABRIEL PERIN GOMES

**INFLUÊNCIA DE GOTEJADORES COM SAÍDA DE ÁGUA TIPO FENDA E
CILÍNDRICA NA INTRUSÃO RADICULAR EM IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL NA
CULTURA DO MILHO**

Botucatu

2019

GABRIEL PERIN GOMES

**INFLUÊNCIA DE GOTEJADORES COM SAÍDA DE ÁGUA TIPO FENDA E
CILÍNDRICA NA INTRUSÃO RADICULAR EM IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL
NA CULTURA DO MILHO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Hélio Grassi Filho

Coorientador: Luiz Antonio de Andrade

Botucatu

2019

G633i Gomes, Gabriel Perin

Influência de gotejadores com saída de água tipo fenda e cilíndrica na intrusão radicular em irrigação subsuperficial na cultura do milho / Gabriel Perin Gomes. -- Botucatu, 2019
68 p. : tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Hélio Grassi Filho
Coorientador: Luiz Antonio de Andrade

1. Irrigação por gotejamento. 2. Irrigação subsuperficial. 3. Intrusão radicular. 4. Cultura do milho. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

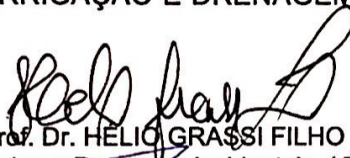
“INFLUÊNCIA DE GOTEJADORES COM SAÍDA DE ÁGUA TIPO FENDA E CILÍNDRICO NA INTRUSÃO RADICULAR EM IRRIGAÇÃO SUPERFICIAL NA CULTURA DO MILHO”

AUTOR: GABRIEL PERIN GOMES

ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

COORIENTADOR: LUIZ ANTONIO DE ANDRADE

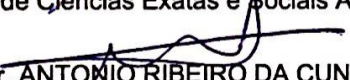
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO

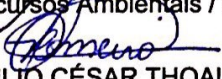
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. THOMAZ FIGUEIREDO LOBO

Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas / Universidade Sagrado Coração


Prof. Dr. ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA

Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. JÚLIO CÉSAR THOALDO ROMEIRO

Diretoria Técnica / CDRS, Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável


Prof. Dr. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA

Agronomia / Faculdade Eduvale de Avaré

Botucatu, 29 de agosto de 2019.

A Deus e família,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Nessa fase que se encerra, sou grato primeiramente a Deus por todos os bens e maravilhas que tem me concedido, além das provas que comigo têm passado e não tem me desamparado;

Aos meus queridos pais, Valdeir Gomes e Adriana Perin Gomes, e irmão Estevão Perin Gomes pelo amor e apoio incondicional, os quais não mediram esforços a me ajudar, apoiar e aconselhar, não somente nesse, mas em todos os momentos da minha vida;

A Meiriele Martins de Oliveira pela dedicação e companheirismo em todo momento, por ter me ajudado, acompanhado e não medido esforços nesse processo tão importante da minha vida.

A meu orientador e amigo, Prof. Dr. Hélio Grassi Filho, que nos momentos mais difíceis da minha vida acadêmica, me ajudou e orientou;

Ao meu Coorientador, amigo e irmão na fé, Dr. Luiz Antonio de Andrade, a quem devo gratidão por todo o conhecimento e experiência ensinada.

Ao coordenador do programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Prof. Dr. Rodrigo Máximo S. Román que com brilhantismo tem lutado para elevar a cada dia mais o nível do programa;

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade de realização do curso de mestrado e doutorado, além de contribuição na minha vida acadêmica;

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

A Brasil Drip por ter cedido os materiais para teste e confiado em meu trabalho.

A Petroisa Irrigação Ltda. por todo o apoio que me concedeu durante todo o meu processo de formação;

Ao “Pedrinho” e Sr. Jair, funcionários do Departamento de Solos e Recursos Ambientais por toda ajuda, apoio e conselhos no desenvolver do experimento.

Ao Luciano Valdrighi pela parceria e por muito ter me ajudado no desenvolvimento da pesquisa;

Aos funcionários da biblioteca e seção de Pós-Graduação pelo atendimento durante todos esses anos e a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos membros da banca, Prof.º Dr. Rodrigo Domingues Barbosa, Dr. Júlio César Thoaldo Romeiro, Dr. Antonio Ribeiro da Cunha e ao Prof.º Dr. Thomaz Figueiredo Lobo por aceitarem o convite e contribuições à esse trabalho.

RESUMO

O milho é considerado uma das principais culturas no Brasil. A irrigação por gotejamento vem ganhando espaço na cultura do milho, no intuito de aumentar a produtividade de maneira sustentável, porém, algumas limitações como tratamentos culturais que podem danificar os tubos emissores, como exemplo a capina. Dessa forma, uma alternativa interessante para suprir as necessidades hídricas das plantas de forma que não atrapalhe o manejo mecanizado de determinadas culturas, é o uso da irrigação por gotejamento subsuperficial (*Subsurface Drip Irrigation – SDI*). Este trabalho teve por objetivo analisar o desempenho da saída de água dos tipos fenda e cilíndrica na intrusão radicular de gotejadores em irrigação subsuperficial. A pesquisa foi realizada em estufa agrícola no departamento de Solos e Recursos Ambientais localizado na Faculdade de Ciências Agrônômicas – Unesp/ Botucatu. O delineamento empregado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 2 x 2 com 5 repetições, sendo o primeiro fator, os diferentes tipos de saída de água (saída do tipo cilíndrica e do tipo fenda com o mesmo gotejador), e o segundo fator as diferentes formas de distribuição de água (fluxo contínuo e distribuição por pulsos). Foram analisados: altura de planta, altura de inserção da primeira espiga, número de folhas, massa de folhas fresca e seca, diâmetro de colmo, massa de colmo fresca e seca, massa de raiz fresca e seca, comprimento de espiga, número de fileiras da espiga, diâmetro da espiga e sabugo, massa de 100 grãos, número de grãos por espiga, massa da espiga com palha e sem palha fresca, massa de espiga sem palha seca, produtividade, eficiência no uso da água de irrigação e índice de intrusão radicular. Os dados foram submetidos à análise de variância complementada com o teste de Tukey, sendo considerado significativo quando $P < 0,05$. As diferentes saídas de água dos emissores não apresentaram diferenças estatísticas. Concluiu-se que as saídas do tipo fenda e cilíndrica apresentaram bom desempenho e não apresentaram intrusão radicular para o ciclo do milho cultivado.

Palavras-chave: Emissores. Gotejamento subsuperficial. Raízes. Obstrução.

ABSTRACT

Corn is considered one of the main crops in Brazil. Drip irrigation has been gaining ground in the corn crop, without increasing the carrying capacity, however, some restrictions such as cultural treatments that can damage the emitting pipes, such as weeding. Thus, an interesting alternative to supply, such as the water needs of plants in a way that does not mechanically attract or manipulate crops, is the use of subsurface drip irrigation (Subsurface Drip Irrigation - SDI). The objective of this work was to analyze the performance of slit and cylindrical water outflow in the root intrusion of drippers in subsurface irrigation. The research was carried out in an agricultural greenhouse in the Department of Soils and Environmental Resources located at the Faculty of Agricultural Sciences - Unesp / Botucatu. The experimental design was a randomized block design in a 2 x 2 factorial scheme with 5 repetitions. The first factor is the different forms of water distribution (continuous flow and pulse distribution). Plant height, first ear insertion height, leaf number, fresh and dry leaf mass, stem diameter, fresh and dry stem mass, fresh and dry root mass, ear length, number of rows were analyzed. spike, spike and cob diameter, 100 grain weight, number of grains per spike, spike mass with straw and no fresh straw, spike mass without dry straw, productivity, irrigation water use efficiency and intrusion rate root. Data were submitted to analysis of variance complemented by Tukey test, being considered significant when $P < 0.05$. The different water outlets of the emitters showed no statistical differences. It was concluded that the slit and cylindrical outlets presented good performance and did not present root intrusion for the cultivated corn cycle.

Keywords: Emitters. Subsurface drip. Roots. Obstruction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Temperaturas máxima, mínima e média (°C) registradas no interior da casa de vegetação durante o período experimental.....	29
Figura 2 – Umidades relativas do ar máxima, mínima e média (%) registradas no interior da casa de vegetação durante o período experimental.....	30
Figura 3 – Vaso com capacidade de 100 L utilizado no período experimental... ..	30
Figura 4 – Estrutura do gotejador utilizado no desenvolvimento da pesquisa.....	32
Figura 5 – Estrutura do gotejador utilizado no desenvolvimento da pesquisa.....	35
Figura 6 – Tubo gotejador Pantanal (a) e Guaraní (b) utilizado na realização do experimento.....	42
Figura 7– Evaporação de referência (mm) registrada durante o período experimental.....	43
Figura 8 – Sistema radicular das plantas cultivadas... ..	46
Figura 9 – Médias de produtividade $t\ ha^{-1}$ em relação as lâminas aplicadas no ciclo em mm^{-1} para cada tratamento.....	51
Figura 10 – Vazão relativa semanal em (%) registrados no período experimental para cada tratamento... ..	52
Figura 11 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 1, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por fluxo contínuo... ..	54
Figura 12 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 2, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por pulsos... ..	56
Figura 13 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 3, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por pulsos... ..	57
Figura 14 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 4, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por pulsos.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho	21
Tabela 2 – Caracterização química do solo da área experimental	28
Tabela 3 – Caracterização química do solo da área experimental	29
Tabela 4 – Cronograma de cultivo	31
Tabela 5 – Descrição dos tratamentos	35
Tabela 6 – Índice de Intrusão Radicular (IIR) definido pela vazão relativa dos emissores ($L\ h^{-1}\ emissor^{-1}$), em irrigação subsuperficial.	40
Tabela 7 – Caracterização de intrusão radicular (CIR) definido pelo nível de penetração de raiz no emissor.....	40
Tabela 8 – Análise de variância das variáveis: números de folhas (NF), massa de folha fresca (MFF), massa de folha seca (MFS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.	43
Tabela 9 – Análise de variância das variáveis: altura de planta (AP) e altura de inserção da primeira espiga de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.....	44
Tabela 10 – Análise de variância das variáveis: diâmetro de colmo (DC), massa de colmo fresca (MCF) e massa de colmo seca (MCS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.....	45
Tabela 11 – Análise de variância das variáveis: massa de raiz fresca (MRF), massa de raiz seca (MRS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda....	46
Tabela 12 – Análise de variância das variáveis: massa fresca de espiga com palha (MFECP), massa fresca de espiga sem palha (MFESP) e massa seca de espiga sem palha (MSESP) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.....	47
Tabela 13 – Análise de variância das variáveis: comprimento de espiga (CE), número de fileiras por espiga (NFE) e diâmetro de espiga (DE) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.....	48

Tabela 14 – Análise de variância das variáveis: diâmetro de sabugo (DS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.....	49
Tabela 15 – Análise de variância das variáveis: número de grãos por espiga (NGE), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade (P) em t ha ⁻¹ de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.....	50
Tabela 16 – Valores médios das variáveis: lâmina aplicada (mm ciclo ⁻¹), produtividade (t ha ⁻¹) e eficiência do uso da água de irrigação (t ha ⁻¹ mm ⁻¹) em milho submetido irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.....	51
Tabela 17 – Média semanal da vazão relativa dos emissores (Q _R – %) registradas nos hidrômetros.....	53
Tabela 18 – Média semanal da vazão atual dos emissores (Q _a – L ⁻¹) registradas nos hidrômetros.....	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	A cultura do milho.....	20
2.2	Importância econômica.....	21
2.3	Irrigação da cultura do milho.....	22
2.4	Irrigação por gotejamento.....	23
2.5	Irrigação por gotejamento subsuperficial.....	23
2.5.1	Vantagens do <i>SDI</i>	24
2.5.2	Limitações do <i>SDI</i>	25
2.5.3	Intrusão radicular em emissores.....	26
2.6	Irrigação por pulsos e fluxo contínuo.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Localização e caracterização da área experimental.....	28
3.2	Caracterização do solo.....	28
3.3	Dados meteorológicos.....	29
3.4	Instalação e condução da pesquisa.....	30
3.4.1	Sistema de irrigação.....	31
3.4.2	Estrutura do gotejador.....	32
3.4.3	Manejo da irrigação.....	32
3.5	Delineamento experimental.....	34
3.6	Variáveis avaliadas.....	35
3.6.1	Análises de planta.....	35
3.6.1.1	Altura de planta (AP).....	35
3.6.1.2	Altura de inserção de espiga (AIE).....	36
3.6.1.3	Número de folhas (NF).....	36
3.6.1.4	Massa de folhas fresca (MFF).....	36
3.6.1.5	Massa de folhas seca (MFS).....	36
3.6.1.6	Diâmetro de colmo (DC).....	36
3.6.1.7	Massa de colmo fresca (MCF).....	36
3.6.1.8	Massa de colmo seca (MSC).....	37
3.6.1.9	Massa de raiz fresca (MRF).....	37
3.6.1.10	Massa de raiz seca (MRS).....	37

3.6.1.11	Massa fresca de espiga com palha (MFECP).....	37
3.6.1.12	Massa fresca de espiga sem palha (MFESP).....	37
3.6.1.13	Massa seca de espiga sem palha (MSESP).....	37
3.6.1.14	Comprimento de espiga (CE).....	38
3.6.1.15	Diâmetro da espiga (DE).....	38
3.6.1.16	Número de fileiras por espiga (NFE).....	38
3.6.1.17	Massa de 100 grãos (MG).....	38
3.6.1.18	Número de grãos por espiga (NGE).....	38
3.6.1.19	Diâmetro de sabugo (DS).....	38
3.6.1.20	Produtividade (P).....	39
3.6.2	Análises de irrigação.....	39
3.6.2.1	Eficiência no uso da água de irrigação (EUAI).....	39
3.6.2.2	Índice de intrusão radicular (IIR).....	39
3.6.2.3	Caracterização de intrusão radicular (CIR).....	40
3.7.	Análise estatística.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1	Avaliação do sistema de irrigação.....	42
4.2	Resultado das análises.....	43
4.2.1	Análises de planta.....	43
4.2.2	Análises de irrigação.....	50
4.2.2.1	Eficiência do uso da água de irrigação (EUAI).....	50
4.2.2.2	Índice de intrusão radicular (IRR).....	52
4.2.2.3	Caracterização de intrusão radicular (CIR).....	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6	CONCLUSÕES.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

O milho com produção de 98,5 milhões de toneladas para a safra de 2018/2019 é considerado uma das principais culturas no Brasil (CONAB, 2019). Tecnologias que otimizam a produtividade de maneira sustentável têm sido cada vez mais empregadas no cultivo do milho. Entre essas tecnologias, a irrigação se destaca, onde atualmente o sistema por aspersão é o mais utilizado. A irrigação por gotejamento vem ganhando espaço no cultivo de milho onde este método tem sido empregado em algumas regiões brasileiras, como Bahia, Goiás, São Paulo entre outras.

A irrigação por gotejamento possui algumas limitações, como tratos culturais que podem danificar os tubos emissores, tais como na capina. Já a aspersão, além do maior consumo de água, também requer atenção no manejo, pois, se usado de maneira errônea pode aumentar a incidência de fungos em folhas e caules. Dessa forma, uma alternativa interessante para suprir as necessidades hídricas das plantas de forma que não atrapalhe o manejo mecanizado de determinadas culturas, é o uso da irrigação por gotejamento subsuperficial (*Subsurface Drip Irrigation – SDI*).

O gotejamento enterrado (*SDI*) surgiu na década de 60, porém, apresentou problemas com entupimentos, principalmente devido a intrusão radicular. Esse problema ainda é a maior limitação no SDI nos dias de hoje. No intuito de solucionar tal limitação, pesquisadores e fabricantes de tubo emissores têm estudado e desenvolvido novas tecnologias. A barreira física tem sido a alternativa adotada por algumas delas no intuito de impedir a intrusão radicular.

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo analisar o desempenho da saída de água dos tipos fenda e cilíndrica na intrusão radicular de gotejadores em irrigação subsuperficial. Foram analisados: altura de planta, altura de inserção da primeira espiga, número de folhas, massa de folhas fresca, massa de folhas seca, diâmetro de colmo, massa de colmo fresca, massa de colmo seca, massa de raiz fresca, massa de raiz seca, comprimento de espiga, número de fileiras da espiga, diâmetro da espiga, diâmetro do sabugo, massa de 100 grãos, número de grãos por espiga, massa da espiga com palha fresca, massa de espiga sem palha fresca, massa de espiga sem palha seca, produtividade, eficiência no uso da água de irrigação e índice de intrusão radicular.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família *Poaceae* (*Gramineae*), e é uma planta robusta, herbácea, monoica, que possui ciclo anual com 100% de reprodução cruzada (CRUZ, 2013). Possui hábito de florescimento do tipo determinado, e crescimento vegetativo que cessa ao florescer (FANCELLI e DOURADO NETO, 1999).

O grão de milho é constituído por pericarpo (camada externa composta de fibra), embrião (composto pelo cotilédone, epicótilo e radícula) e endosperma. O endosperma corresponde a 75-80% do grão, e seus principais constituintes são os amidos e as proteínas. O ciclo produtivo do milho é composto por cinco etapas: germinação e emergência, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação e maturidade (CRUZ, 2013).

Segundo Gasperini (2011) no Brasil, o cultivo do milho vem de antes da chegada dos europeus no país, sendo que os povos indígenas guaranis foram os primeiros a cultivar esse cereal, que fazia parte de sua dieta. Com a chegada dos portugueses, houve aumento do consumo e da produção de derivados do milho, os quais foram sendo incorporados na dieta dos brasileiros.

É uma planta de alta qualidade nutritiva, sendo cultivada há muitos séculos, e por esse motivo é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo todo (SANTOS e PRADO, 2002).

A cultura do milho apresenta ciclo vegetativo variável, contemplando desde genótipos com ciclos superprecoces, precoce e tardio (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000). O sistema de identificação divide o desenvolvimento da planta em vegetativo (V) e reprodutivo (R) (Tabela 1).

Tabela 1 - Estádios vegetativos e reprodutivos da planta de milho.

VEGETATIVO	REPRODUTIVO
VE – emergência	R1 – embonecamento
V1 – 1ª folha desenvolvida	R2 – bolha d'água
V2 – 2ª folha desenvolvida	R3 – leitoso
V3 – 3ª folha desenvolvida	R4 – pastoso
V4 – 4ª folha desenvolvida	R5 – formação de dente
V _(n) – nª folha desenvolvida	R6 – maturidade fisiológica
VT – pendoamento	

Fonte: Embrapa (2003).

Durante a fase vegetativa, cada estágio é definido de acordo com a formação visível do colar na inserção da bainha da folha com o colmo. Assim, a primeira folha de cima para baixo, com o colar visível, é considerada completamente desenvolvida e, portanto, é contada como tal (EMBRAPA, 2003).

2.2 Importância econômica

O milho assume importante papel socioeconômico entre as culturas de interesse econômico no Brasil, por se constituir em matéria-prima impulsionadora de diversos complexos agroindustriais. Atualmente, o grande desafio está em se alcançar maior produtividade, diminuindo os custos de produção por meio da incorporação de novas tecnologias no manejo, como a irrigação (PEGORARE et al., 2009).

Em meio ao contínuo aumento populacional mundial, a cada ano, a demanda por alimentos e matéria-prima para as indústrias vem crescendo gradativamente. O milho é utilizado na alimentação humana e animal, além de ser matéria-prima para fabricação de diversos outros produtos, inclusive nas indústrias de alta tecnologia, como as indústrias farmacêuticas, e na produção de papéis, adesivos, filmes e embalagens biodegradáveis (CANCELLIER et al., 2011). Aproximadamente 70% dos grãos produzidos no Brasil são destinados ao consumo animal (GALON et al., 2010), pois é uma boa fonte de carboidrato, e 11% da produção é direcionado à indústria para diversos fins (FANCELLI e DOURADO NETO, 2005).

Esse cereal é amplamente cultivado em todo o mundo, sendo o Brasil o terceiro produtor mundial. Na safra 2014/ 2015, o Brasil apresentou produção de 85,0 milhões de toneladas, ficando atrás dos Estados Unidos e da China, com 361,1 e 215,6 milhões de toneladas, respectivamente. (FIESP, 2014). Já na safra de 2017/ 2018, a produção brasileira caiu para 80,1 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

O estudo de projeções do cereal realizado pela Assessoria de Gestão Estratégica do MAPA, mostra que para manter o consumo interno e garantir um volume razoável de estoques finais e o nível de exportações projetado, que devem passar de 21 milhões para 31,7 milhões de toneladas, a produção deverá situar-se em pleno 99,8 milhões de toneladas em 2024/ 2025 (MAPA, 2015).

2.3 Irrigação da cultura do milho

O milho é considerado uma cultura que demanda muita água, mas também é uma das mais eficientes no seu uso, ou seja, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida (EMBRAPA, 2010).

O manejo da irrigação de qualquer cultura tem como objetivo principal, atender à demanda de água pelas plantas visando à maximização da produção. No entanto, as pesquisas têm demonstrado que o manejo deve ser baseado em metas econômicas, e não apenas na máxima produtividade. Em muitos casos, a quantidade de água aplicada para se alcançar a máxima lucratividade é menor do que a necessária para compensar totalmente a evapotranspiração (PRADO, 2013).

Independente do sistema de cultivo adotado, somente o conhecimento da necessidade total de água pela cultura não implica num manejo eficiente da irrigação, sendo indispensável, o conhecimento das necessidades hídricas da cultura nos diferentes estádios ou fases fenológicas do seu ciclo (SOUZA e GONÇALVES, 2003).

Segundo Fancelli (2000), a cultura do milho exige de 300 a 350 mm de água no ciclo para uma produção satisfatória. Bergamaschi et al. (2001) destacam que para um milho híbrido precoce numa população de 50.000 plantas ha⁻¹, a necessidade média de água é de 577 mm para todo o ciclo. Já para 67.000 plantas ha⁻¹, Matzenauer et al. (1983) observaram necessidade média de 650 mm em todo o ciclo.

Gordon et al. (1995) observaram que a eficiência da irrigação depende da etapa fenológica em que é efetuada; maior eficiência é obtida quando a irrigação é aplicada na fase do pendoamento. Segundo Bergamaschi (2004), por esse motivo, o uso da irrigação torna-se fundamental, pois é no período crítico que ocorrem os maiores efeitos do déficit hídrico, além da maior eficiência do uso da água, tanto na produção de matéria seca quanto na produtividade de grãos.

2.4 Irrigação por gotejamento

A irrigação por gotejamento é caracterizada pelo fornecimento de água de forma frequente, porém com baixas intensidades através de emissores localizados ao longo das linhas laterais (HOWELL et al., 1983 apud. SCHIMIDT, 2014), distribuídas diretamente sobre a região radicular das plantas na intenção de manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo.

Esse sistema possui o custo inicial elevado como desvantagem, além de riscos de entupimento dos emissores através da deposição de partículas minerais e orgânicas, tais como carbonato de cálcio, algas, salinização, entre outros que podem ser evitados com o tratamento correto da água de irrigação. Todavia, possui vantagens como: economia de água e energia, fertirrigação, menor incidência de doenças e plantas invasoras, pouca mão-de-obra, facilidade de automação, entre outros fatores.

2.5 Irrigação por gotejamento subsuperficial

A irrigação por gotejamento subsuperficial (*SDI - Subsurface Drip Irrigation*), também denominada de irrigação por gotejamento subterrâneo ou enterrado, é um sistema de irrigação que visa suprir ou complementar as necessidades hídricas da planta com aplicação de água à zona radicular das culturas, utilizando-se linhas de gotejadores abaixo da superfície do solo em profundidade variável de acordo com parâmetros como tipo de solo, cultura a ser irrigada, disponibilidade hídrica e profundidade efetiva do sistema radicular (GOMES, 2015).

Segundo Marques et al. (2006), a primeira instalação de *SDI* ocorreu na década de 60, em Israel, e tem sido utilizada nos Estados Unidos por ser adequada

para a maioria das culturas, em particular para frutas e vegetais de alto valor econômico, tal como para paisagismo (SUAREZ-REY et al., 2006).

A irrigação por gotejamento subsuperficial é utilizada em diversas culturas, tais como cana-de-açúcar, algodão, melão, batata e folhosas, aumentando a produtividade e a qualidade, diminuindo os custos de produção e se adaptando a uma ampla variedade de climas e solos (JUAN, 2000).

Pesquisas realizadas por diversos autores em várias regiões do mundo, comparando *SDI* com sistemas de irrigação por gotejamento superficial, constataram aumento na produtividade das culturas cultivadas sob gotejamento enterrado (Phene et al., 1987; Bucks et al., 1981; Oron et al., 1991; Camp, 1998; Hutmacher et al., 1998).

Em trabalho realizado por DeTar et al. (1996) avaliando a irrigação subsuperficial na cultura da batata, mostra que a produtividade com *SDI* foi maior quando comparada com irrigação por aspersão, na Califórnia.

Segundo pesquisas realizadas por Phene e Beale (1976), no cultivo de milho doce comparando diversos métodos de irrigação, mostraram que as produtividades com *SDI* foram de 12 a 14% maior do que a irrigação por sulco e aspersão respectivamente.

2.5.1 Vantagens do *SDI*

A irrigação por gotejamento subsuperficial tem sido estudada por muitos autores, tais como Dasberg e Bresler (1985); Keller e Bliesner (1990); Tallens (1994); Ayars et al. (1999), Juan (2000), Marques et al. (2006), Rajput e Patel (2009), que mencionam diversas vantagens, dentre elas a possibilidade do uso do mesmo sistema para diferentes culturas; redução do total de água requerida; melhor aproveitamento de água e nutrientes devido à aplicação diretamente na zona de maior massa radicular das plantas; redução da evaporação de água e da população de plantas daninhas, e diminuindo o acúmulo de sais na superfície devido à manutenção de 15-20 cm de solo seco na superfície; menor interferência em tratos culturais (capinas, pulverizações, etc.) e na colheita das culturas; redução de danos mecânicos ao sistema de irrigação; percolações desprezíveis de água e sais solúveis abaixo da zona radicular; sistema radicular mais profundo e menores perdas de nitrato abaixo da zona radicular; eliminação do problema de crostas

superficiais impermeabilizantes do terreno, e de escoamento superficial, com aumento da uniformidade de infiltração; menor incidência de doenças por evitar o contato da água com as folhas.

2.5.2 Limitações do SDI

O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial tem como característica o umedecimento do perfil do solo sem que o mesmo ocorra na superfície e desse modo, a germinação de sementes e pegamento de mudas podem ser comprometidas, necessitando de um segundo sistema de irrigação na fase inicial da cultura. Existem ainda, limitações referentes à exigência de boa filtragem e válvulas de ar de funcionamento contínuo em todos os pontos altos, para evitar sucção de partículas de solo pelos gotejadores; necessidade de injeção de ácidos para controle do pH da água na intenção de evitar a precipitação de substâncias químicas (carbonado de cálcio e ferro) quando pH muito alto; necessidade de injeção de cloro para eliminação de partículas biológicas, como algas e lodo de bactéria;

A principal limitação entre os pesquisadores a respeito do *SDI* é a intrusão radicular, onde a taxa de vazão do emissor pode ser afetada. De acordo com Juan (2000), o entupimento causado por raízes é bastante desigual e dependente do tipo de solo e de emissores. Segundo Marques et al. (2006), tem-se comprovado que é mais frequente em solos argilosos que em franco-arenosos, provavelmente porque as raízes buscam oxigênio dissolvido, e não a água.

Em busca de soluções para os problemas acima citados, Ruskin e Ferguson (1998) e Coelho et al. (2006) relatam quatro maneiras de evitar a intrusão radicular: adição de herbicida trifluralina na água de irrigação; incorporação de trifluralina na constituição da estrutura da parede do emissor; incorporação de trifluralina no filtro de discos; e emissores com barreiras mecânicas. Tendo em vista que atualmente a adição de herbicida trifluralina na injeção de materiais plásticos como emissores e discos utilizados na composição de elementos filtrantes, equipes de engenheiros das empresas de tubos emissores têm estudado e buscado novas tecnologias que viabilizem a irrigação por gotejamento subterrâneo, evitando a obstrução de gotejadores por intrusão radicular.

Segundo pesquisas realizadas por Coelho et al. (2006), com irrigação por gotejamento subsuperficial, avaliando gotejadores de diferentes características

construtivas, nenhum dos emissores ensaiados apresentaram mecanismos que impeçam efetivamente a penetração de raízes ao gotejador. A ocorrência desses problemas pode significar redução nas produtividades e perda total do sistema de irrigação instalado.

O desenvolvimento de novas tecnologias e o manejo adequado da irrigação por gotejamento subsuperficial é de extrema importância para o pleno funcionamento, máxima durabilidade e eficiência do sistema.

2.5.3 Intrusão radicular em emissores

O principal desafio no uso da irrigação subsuperficial em longo prazo é a intrusão de raízes no orifício do emissor. Segundo Barth (1999) uma forma de prevenir a intrusão é a utilização de emissores projetados para oferecer uma barreira física.

A constatação da ocorrência de intrusão radicular é limitada devido à dificuldade na observação dos emissores nas condições naturais, sem que ocorra a modificação da condição original do sistema radicular. Contudo, Bucks et al. (1981) e Bar-Yosef et al. (1989) não observaram intrusão de raízes nas culturas de melão, cebola, cenoura e milho doce. Howell et al. (1997) e Camp et al. (1998), que trabalharam com irrigação por gotejamento subsuperficial na cultura do milho, também não observaram evidências de intrusão radicular. Já Suarez-Rey et al. (2000) com análise destrutivas de emissores utilizados em gotejamento subsuperficial em grama bermuda, constatou redução significativa no coeficiente de uniformidade estatístico.

2.6 Irrigação por pulsos e fluxo contínuo

O manejo da irrigação pode influenciar na probabilidade de ocorrer à intrusão radicular em emissores. A irrigação de alta frequência, que mantém o solo em volta do emissor sempre próximo à saturação, pode inibir o crescimento de raízes na área para algumas plantas. Da mesma forma, os déficits de umidade do solo utilizado com o objetivo de controlar a frutificação e/ ou qualidade na maturação, ou no crescimento vegetativo, pode aumentar a intrusão por

consequência da alta concentração de raízes na área do emissor (Camp et al., 2000).

A irrigação por gotejamento tem como característica a aplicação de água no solo na área de maior absorção das raízes das culturas com pequena intensidade e alta frequência, objetivando manter a umidade do solo na zona radicular próxima a capacidade de campo, economizando água e energia. Porém, a vantagem da economia proporcionada pelo gotejamento, pode ser perdida quando as irrigações são realizadas em excesso, acarretando em situações anaeróbias temporárias na zona radicular que causam diminuição da respiração da planta, por consequência a absorção de nutrientes e fotossíntese, além da lixiviação de nutrientes presentes no solo.

Segundo Mostaghimi e Mitchell (1983), aplicações por gotejamento em pequenos volumes é uma característica desejável para a relação água-solo-planta. Dessa forma, para obter um menor volume de aplicação médio, Karmeli e Peri (1974) sugeriram a aplicação da água de irrigação por pulsos ou intermitente. Essa foi definida pelos autores, como uma série de ciclos, onde cada ciclo consiste de uma fase de irrigação e uma de repouso.

De acordo com Almeida (2012), trata-se de uma prática de irrigação por um curto período de tempo, seguido por um tempo de repouso e mais um curto período de irrigação subsequente, onde esse ciclo segue até que toda a água de irrigação necessária seja aplicada.

Bakeer et al. (2009) relatam que a irrigação por pulso tem sido utilizada em todo o mundo, principalmente devido aos seus efeitos positivos sobre a produtividade e qualidade dos produtos, economia do uso da água e energia, redução de entupimentos de emissores, entre outros.

A aplicação de água por pulsos permite reduzir a taxa média de irrigação, minimizando excesso de umidade e a redução da taxa de oxigênio no solo. Entretanto, como desvantagens da irrigação por pulso, há o aumento dos custos com válvulas automáticas e painéis controladores de irrigação. Outro fator é a possibilidade de comprometimento do equilíbrio total das pressões na rede hidráulica quando em setores extensos, o que pode ser corrigido com o emprego de pequenos setores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada em estufa plástica no departamento de Solos e Recursos Ambientais localizado na Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/ Botucatu, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 50' latitude Sul e 48° 26' longitude Oeste, com altitude média de 786 m. Segundo a classificação de Köppen, o município de Botucatu – SP apresenta clima do tipo (Cfa) clima temperado quente (mesotérmico) e úmido (CUNHA; MARTINS, 2009).

3.2 Caracterização do solo

Para a caracterização química do solo da área experimental (Tabela 2), foram retiradas amostras na camada de 0 – 0,20 m para análise, o qual foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente a UNESP – Campus de Botucatu, segundo metodologia descrita por Rajj et al. (2001).

Tabela 2 - Caracterização química do solo da área experimental.

Camada	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
m	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----			mmol _c dm ⁻³	-----			%	mg dm ⁻³
0 - 0,20	4,2	19	3	11	51	0,4	24	7	31	82	37	14

B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----		mg dm ⁻³	-----	
0,26	4,8	12	7,1	0,0

Fonte: Laboratório de Fertilidade do solo. DSRA-FCA.

O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho, segundo classificação da EMBRAPA (2006) (Tabela 3).

Tabela 3 - Caracterização física do solo da área experimental.

Areia			Argila	Silte	Teor de água	Textura do solo
Grossa	Fina	Total				
----- g kg ⁻¹ -----					%	----
----	----	328	523	149	----	Argilosa

Fonte: Laboratório de Fertilidade do solo. DSRA-FCA.

3.3 Dados meteorológicos

Para a obtenção das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) máximas e mínimas, foi utilizado termo higrômetro Incoterm®, modelo 7429 TFA, onde foram realizadas leituras diárias.

Mediante os dados obtidos nas leituras, foi possível constatar que durante a condução do experimento, a temperatura média registrada foi de 21,3°C, apresentando máxima de 47°C e mínima de 8,7°C. A umidade relativa do ar apresentou média de 70%, sendo a máxima de 99% e mínima 19% ao longo do período (Figuras 1 e 2).

Figura 1 - Temperaturas máxima, mínima e média (°C) registradas no interior da estufa plástica durante o período experimental.

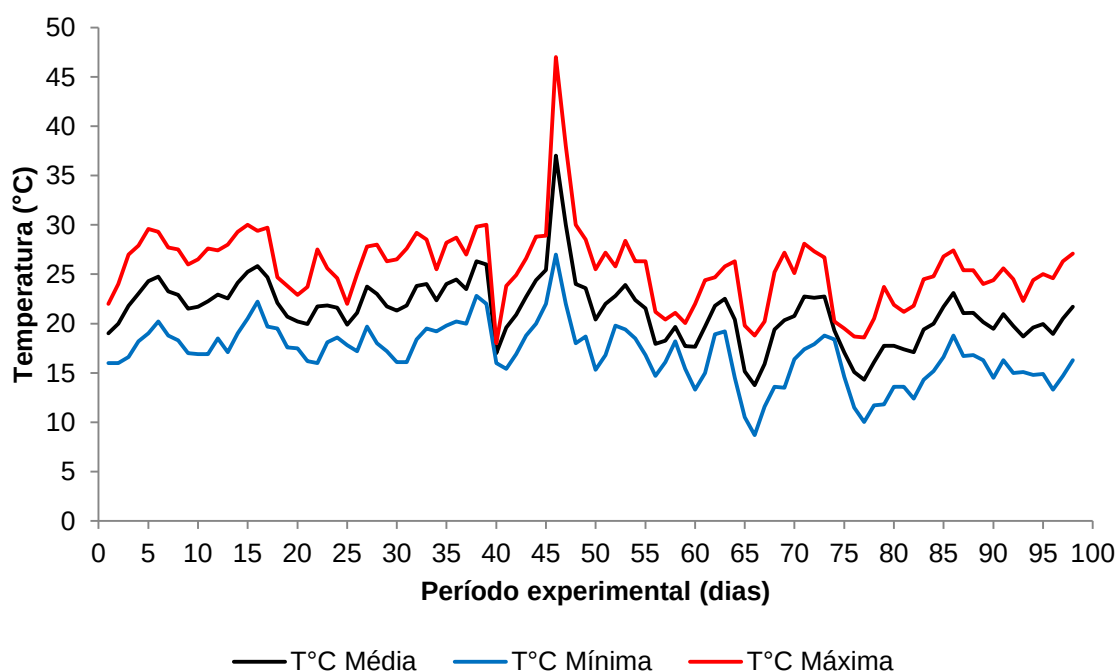
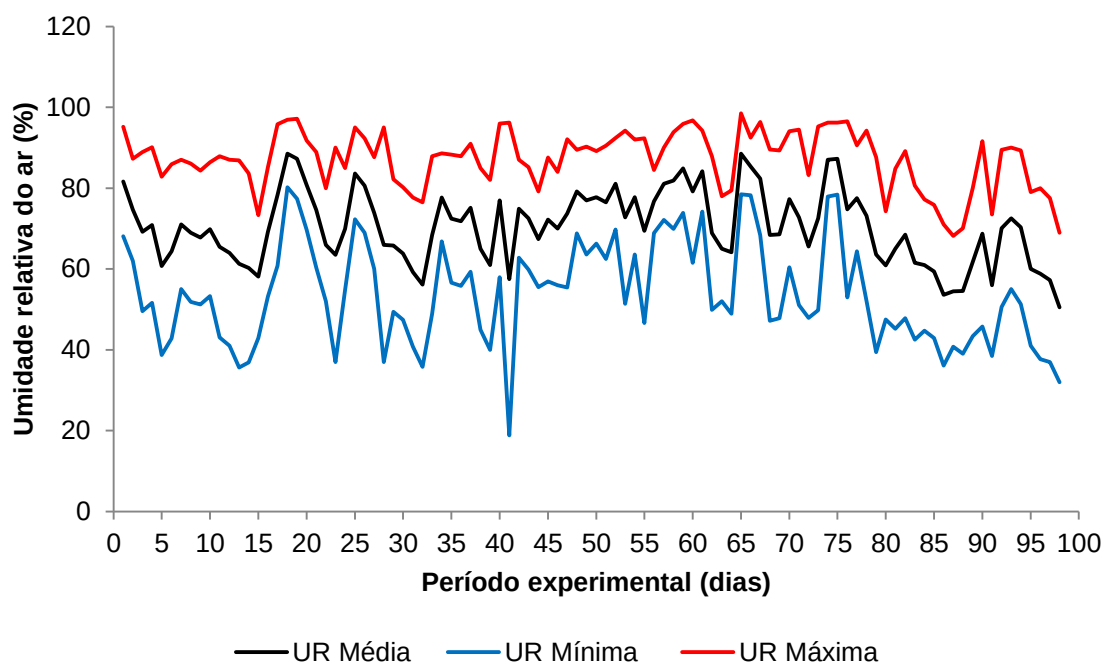


Figura 2 – Umidades relativas do ar máxima, mínima e média (%) registradas no interior da estufa plástica durante o período experimental.



3.4 Instalação e condução da pesquisa

O híbrido de milho utilizado na pesquisa foi a variedade AG 1051, de ciclo semiprecoce, ideal para produção de silagens, milho verde e grãos.

Cada parcela experimental foi caracterizada por um vaso com capacidade de 100 L (Figura 3). Para a realização da semeadura, o solo foi primeiramente elevado à capacidade de campo (Tabela 4). Foram semeadas oito sementes alinhadas em “quadrado”, duas sementes em cada aresta com uma profundidade de 0,04 a 0,05 m. No 14º dia após emergência (DAE) foi realizado o desbaste deixando apenas quatro plantas espaçadas em 0,3 m.

Figura 3 – Vaso com capacidade de 100 L utilizado no experimento



Tabela 4 - Cronograma de cultivo

Ciclo (ano)	Semeadura	Desbaste	Adubação de cobertura		Colheita
2019	21/03	04/04	11/04	25/04	26/06

No preparo de solo, para a elevação da saturação por base (V%) a 70%, foram utilizados 3 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 90%) 30 dias antes do plantio. A adubação de base ocorreu 15 dias antes do plantio, utilizando-se 360 kg ha⁻¹ de NPK 08-28-16.

A adubação de cobertura foi realizada através da fertirrigação, onde foi aplicado 190 kg ha⁻¹ de (NH₄)₂SO₄, divididas em 2 aplicações, aos 21 e 35 DAP.

Para manter as plantas livres de plantas invasoras, foi feito a limpeza manual dos vasos periodicamente. O controle de pragas e doenças foi realizado sempre em caráter preventivo.

3.4.1 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação em todos os tratamentos foi constituído de irrigação por gotejamento subsuperficial (*SDI*): dois tratamentos com a distribuição da lâmina em fluxos contínuos, e dois tratamentos com distribuição da lâmina de irrigação por pulsos. Os tratamentos contaram com painel de controle para automação da irrigação, onde cada tratamento foi separado por válvulas elétricas.

O sistema foi constituído por filtro de 120 mesh e manômetro para controle e monitoramento de pressão.

Cada parcela foi constituída de uma linha de tubo emissor com dois gotejadores espaçados em 0,30 m e vazão média informada pela fabricante de 1,99 L h⁻¹ a 10 m.c.a. e ao final de cada tubo emissor foi utilizado um CAP.

Os tubos emissores foram instalados a 0,10 m de profundidade em relação à superfície do solo, respeitando a profundidade média indicada pela fabricante. Cada tubo emissor foi conectado à linha supridora por meio de uma mangueira de Polietileno Linear de Baixa Densidade (PELBD) com 16 mm de diâmetro.

O sistema foi automatizado para maior precisão no controle das irrigações contínuas e intermitentes (pulso). Os tratamentos foram acionados por válvulas elétricas, totalizando quatro válvulas, seguidas de hidrômetros individuais para

monitoramento das vazões diárias médias acumuladas e dessa forma, em caso de obstruções, poderá ser detectada.

3.4.2 Estrutura do gotejador

O emissor utilizado é caracterizado por canais de filtragem duplos posicionados paralelamente nas laterais do emissor com a câmara de saída de água localizada ao centro; o comprimento do percurso, da saída do canal de filtragem até o final do labirinto, é de 53,98 mm e a área de filtragem líquida é de 2,47 mm². Por apresentar câmara longitudinal posicionada ao centro do emissor, este permite a fabricação dos tubos gotejadores com saída de água do tipo cilíndrica, além do tipo fenda (Figura 4).

Figura 4 – Estrutura do gotejador utilizado no desenvolvimento da pesquisa.



3.4.3 Manejo da irrigação

Não houve diferenciação nos tratamentos até o 14° DAS (dias após semeadura), sendo aplicadas lâminas para todos os tratamentos por fluxo contínuo.

O manejo da irrigação foi realizado através do tanque Classe A, localizado no interior da estufa plástica que a pesquisa foi desenvolvida, de acordo com metodologia descrita por Doorembos e Pruitt (1977). Após o 14° DAS, a irrigação foi realizada diariamente de modo que repunha a quantidade de água utilizada pelas plantas de acordo com a evaporação da cultura (ET_c), obtida através da Et₀ determinada pela evaporação da água do tanque Classe A (ECA) corrigida pelo coeficiente K_p (equações 1 e 2).

(1)

$$ET_0 = ECA \cdot Kp$$

Onde:

ET_0 – evapotranspiração da referência, em mm d⁻¹;

ECA – evaporação acumulada do tanque Classe A no intervalo entre irrigações, em mm d⁻¹;

Kp – coeficiente do tanque Classe A;

(2)

$$ETc = Et_0 \cdot Kc$$

Onde:

ETc – evapotranspiração da cultura, em mm d⁻¹;

Kc – coeficiente da cultura;

As lâminas aplicadas em cada tratamento foram determinadas de acordo com a equação abaixo (equação 3):

(3)

$$L_{ap} = \frac{ECA}{Ef}$$

Onde:

Ef – eficiência do sistema de irrigação, em %.

O tempo de irrigação foi obtido através da equação 4.

(4)

$$Ti = \frac{L_{ap} \cdot E_e \cdot E_{ll}}{Q_e}$$

Onde:

T_i – tempo de irrigação, em h^{-1} ;

E_e – espaçamento entre emissores, em m^{-1} ;

E_{ll} – espaçamento entre linhas laterais, em m^{-1} ;

Q_e – vazão do emissor, em L h^{-1} .

Após leituras, foi realizada a programação dos controladores. Para os tratamentos que receberam a irrigação intermitente, foi separada em dois pulsos, um no período matutino e outro no período vespertino. Já os tratamentos que receberam a irrigação por meio de fluxo contínuo, foram programados para que fossem irrigados no período da manhã.

Para a correta irrigação, foi realizado teste de vazão. Para tanto, foram retirados 25 emissores das bobinas dos tubos gotejadores utilizados e testados a uma pressão de 10 m.c.a. (100 kPa) em bancada, segundo Norma ISO 9261:2004. Com os dados coletados foi determinado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (equação 5).

(5)

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \right]$$

Onde:

CUC – Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

q_i – vazão no gotejador i , em L h^{-1} ;

$\bar{q}$ – vazão média dos gotejadores, em L h^{-1} ;

n – número de gotejadores observados.

3.5 Delineamento experimental

O delineamento empregado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 2×2 com 5 repetições (Tabela 5), sendo o primeiro fator os diferentes tipos de saída de água (saída do tipo cilíndrico e do tipo fenda com o mesmo gotejador) e

o segundo fator as diferentes formas de distribuição de água (fluxo contínuo e distribuição por pulsos). Foram utilizados como parcela experimental, vasos cilíndricos com capacidade para 100 L de solo, totalizando 20 vasos, onde cada um continha quatro plantas (Figura 5).

Figura 5 – Esquema geral do experimento no interior da estufa plástica.

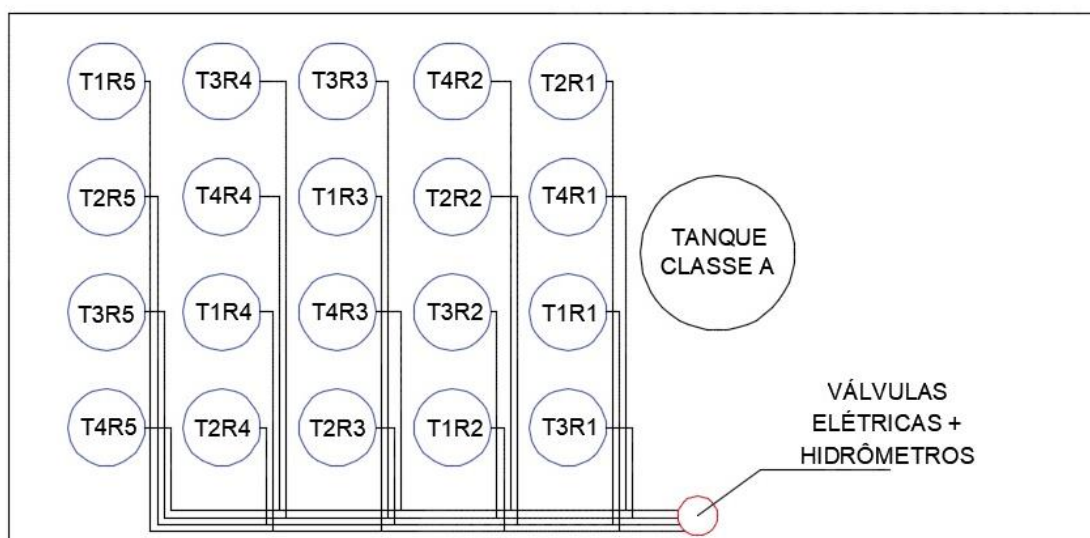


Tabela 5 - Descrição dos tratamentos.

Tratamentos	Saída de água	Fluxo
T1	Cilíndrico	Contínuo
T2	Cilíndrico	Pulso
T3	Fenda	Contínuo
T4	Fenda	Pulso

3.6 Variáveis avaliadas

3.6.1 Análises de planta

3.6.1.1 Altura de planta (AP)

A altura de planta correspondeu à distância média, em metros, entre a superfície do solo e a folha bandeira utilizando-se uma trena graduada.

3.6.1.2 Altura de inserção de espiga (AIE)

A altura de inserção da espiga foi obtida através da medição da distância entre a superfície do solo e a base da primeira espiga, em metros, com o auxílio de trena graduada.

3.6.1.3 Número de folhas (NF)

Após a colheita, foi separada com auxílio de estilete toda a parte aérea das plantas. Após separação, foi realizada a contagem do número de folhas por planta.

3.6.1.4 Massa de folha fresca (MFF)

A massa de folha fresca, em gramas, após a contagem as amostras foram pesadas em balança digital de precisão.

3.6.1.5 Massa de folha seca (MFS)

Após a pesagem da matéria fresca, as amostras foram mantidas em estufa com temperatura a 60°C com circulação de ar forçada até massa constante, após este processo foi realizado a pesagem, em gramas.

3.6.1.6 Diâmetro de colmo (DC)

O diâmetro de colmo, em milímetro, correspondeu à medição do primeiro entrenó acima do colo da planta, com a utilização de paquímetro digital.

3.6.1.7 Massa de colmo fresca (MCF)

Para a determinação da massa de colmo fresca, em gramas, após a separação das demais partes, as amostras de colmo foram pesadas em balança digital de precisão.

3.6.1.8 Massa de colmo seca (MCS)

Após a pesagem dos colmos, as amostras foram levadas e mantidas em estufa com a temperatura a 60°C com circulação de ar forçada até massa constante, após este processo foi realizado a pesagem, em gramas.

3.6.1.9 Massa de raiz fresca (MRF)

Após a lavagem do sistema radicular, foi obtida a massa de raiz fresca, em gramas, com a utilização de balança de precisão.

3.6.1.10 Massa de raiz seca (MRS)

Após a pesagem de massa radicular fresca, as amostras foram mantidas em estufa à temperatura de 60°C até massa constante, em gramas, e em seguida pesadas novamente.

3.6.1.11 Massa fresca de espiga com palha (MFECP)

A massa fresca de espiga com palha, em gramas, foi determinada após a separação das demais partes, as espigas ainda foram pesadas em balança digital de precisão, em gramas.

3.6.1.12 Massa fresca de espiga sem palha (MFESP)

Após pesagem da massa fresca das espigas com palha, as espigas foram despalhadas, e em seguida pesadas em balança digital de precisão, em gramas.

3.6.1.13 Massa seca de espiga sem palha (MSESP)

Após a pesagem das espigas sem palha, as amostras foram levadas e mantidas em estufa com a temperatura a 60°C com circulação de ar forçada até massa constante para posterior pesagem, em gramas.

3.6.1.14 Comprimento de espiga (CE)

O comprimento de espiga, em centímetros, foi obtido através de medições realizadas com o auxílio de régua milimétrica.

3.6.1.15 Diâmetro da espiga (DE)

O diâmetro da espiga correspondeu ao diâmetro médio, em milímetros, realizadas com auxílio de paquímetro digital.

3.6.1.16 Número de fileiras por espiga (NFE)

O número de fileiras por espiga foi realizado após despalhamento e medição do diâmetro.

3.6.1.17 Massa de 100 grãos (M100G)

Após as medições, foi realizado a debulha das amostras, em seguida selecionados aleatoriamente 100 grãos e feito a pesagem, em gramas, com a utilização de balança de precisão. Antes da pesagem, as umidades dos grãos foram corrigidas a 13%.

3.6.1.18 Número de grãos por espiga (NGE)

Após a debulha das espigas, foram contados os números de grãos por planta.

3.6.1.19 Diâmetro de sabugo (DS)

O diâmetro de sabugo correspondeu ao diâmetro médio, em milímetros, realizadas com auxílio de paquímetro digital.

3.6.1.20 Produtividade (P)

A produtividade foi obtida através da pesagem dos grãos corrigidos a 13% e extrapolação do resultado para $t\ ha^{-1}$.

3.6.2 Análises de irrigação

3.6.2.1 Eficiência no uso da água de irrigação (EUAI)

A eficiência do uso da água de irrigação foi determinada através da relação entre a produtividade e a lâmina de água aplicada pela irrigação durante o ciclo (equação 6).

(6)

$$EUAI = \left(\frac{R_C}{L_a} \right)$$

Onde:

$EUAI$ – eficiência no uso da água de irrigação, em $t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$;

R_C – rendimento da cultura, em $t\ ha^{-1}$;

L_a – lâmina de água aplicada pela irrigação, em mm^{-1} .

3.6.2.2 Índice de intrusão radicular (IIR)

O índice de intrusão radicular foi definido através da variação de vazão dos gotejadores monitorados semanalmente por hidrômetros comparados ao teste de vazão realizado segundo a ISO 9261:2001, conforme descrito no item 3.4.3.

Para possibilitar a avaliação do efeito dos tratamentos, os dados de vazão foram proporcionalizados em relação à vazão nominal (equação 7) (RESENDE, 2004).

(7)

$$Q_R = \frac{Q_a}{Q_n} \cdot 100$$

Onde:

Q_R – vazão relativa, em %;

Q_a – vazão atual, em $L\ h^{-1}$;

Q_n – vazão nominal, em $L\ h^{-1}$.

Para a qualificação da intrusão radicular, foi elaborada escala de grau de entupimento adaptada de Hernandez (2010). Os índices de Intrusão Radicular e suas respectivas vazões residuais estão descritos e organizados na Tabela 6.

Tabela 6 - Índice de Intrusão Radicular (IIR) definido pela vazão relativa dos emissores ($L\ h^{-1}$ emissor $^{-1}$), em irrigação subsuperficial.

Índice de intrusão radicular	Q_R (%)	Q ($L\ h^{-1}$)
Nulo	0 a 2	1,99 a 1,95
Baixo	2 a 20	1,94 a 1,56
Médio	20 a 40	1,55 a 1,19
Alto	40 a 70	1,18 a 0,60
Muito alto	70 a 100	0,59 a 0,00

Fonte: adaptado de Hernandez (2010).

3.6.2.3 Caracterização de intrusão radicular (CIR)

Para caracterização da intrusão radicular, foi realizada análise visual. Para tanto, foi elaborado escala de notas quanto ao nível de obstrução (Tabela 7).

Tabela 7 - Caracterização de intrusão radicular (CIR) definido pelo nível de penetração de raiz no emissor.

Nível de obstrução	Característica
0	Nenhuma presença de raiz
1	Intrusão radicular inicial baixa no orifício
2	Penetração na câmara de água com evidência de raiz sem emaranhamento
3	Penetração na câmara de água com evidência de raiz emaranhada
4	Penetração no labirinto com característica de raiz emaranhada

3.7 Análise estatística

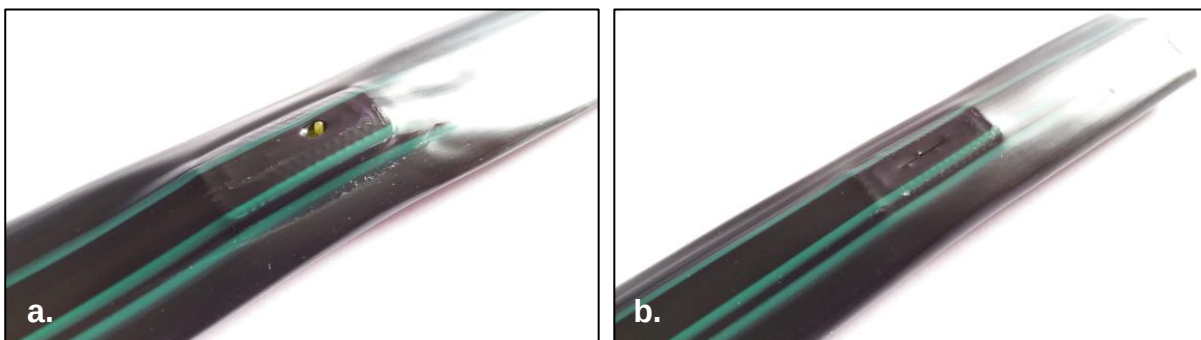
Foi realizado análise de variância complementada com o teste de Tukey para todas as variáveis citadas anteriormente, sendo considerado significativo quando $P < 0,05$. As análises foram realizadas através do software AgroEstat.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do sistema de irrigação

Para os sistemas de irrigação, foram utilizados tubo gotejadores de parede fina, espessura 8 mil/ 200 micra, com emissores espaçados em 0,30 m diferenciados pelo tipo de saída, onde o modelo Pantanal é caracterizado pela saída de água tipo cilíndrica, e o modelo Guarani pela saída tipo fenda (Figura 6), os emissores possuem vazão nominal de $1,99 \text{ L h}^{-1}$ à pressão de 10 m.c.a. (0,98 bar), ambos da empresa Brasil Drip®.

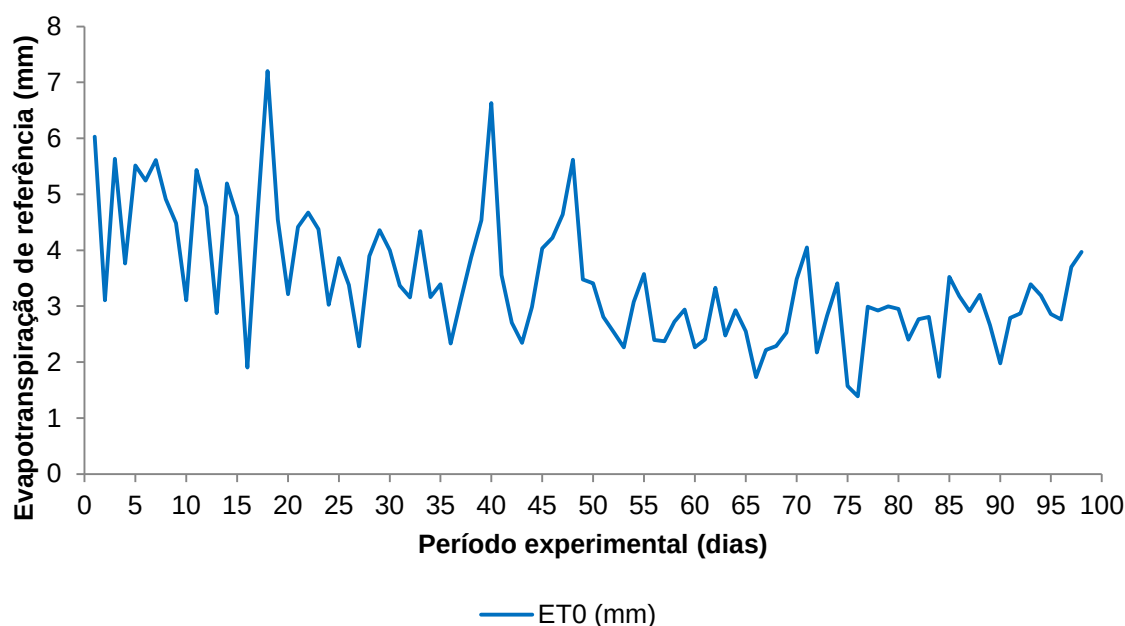
Figura 6 – Tubo gotejador Pantanal (a) e Guarani (b) utilizado na realização do experimento.



Para o CUC, o modelo com saída tipo cilíndrico apresentou uniformidade de 96,35%, e com saída tipo fenda, uniformidade de 95,86%.

As leituras e registros da evaporação do tanque Classe (ECA) durante ciclo da cultura do milho foi realizada diariamente antes da programação do controlador (Figura 7).

Figura 7 - Evapotranspiração de referência (mm) registrada durante o período experimental.



4.2 Resultado das análises

4.2.1 Análises de planta

Os resultados da análise de variância referente ao número de folhas, massa de folhas fresca e seca são apresentados na tabela 8, onde é possível observar que não houve diferença estatística com significância, segundo o teste de Tukey quando levado em consideração a distribuição de água por fluxo contínuo e parcial, além das diferentes saídas de água.

Tabela 8 - Análise de variância das variáveis: números de folhas (NF), massa de folha fresca (MFF), massa de folha seca (MFS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.

Saída	NF			MFF (g ⁻¹)			MFS (g ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	10,25	11,00	11,00	0,11	0,12	0,12	0,04	0,04	0,04
Fenda	10,25	11,00	10,63	0,09	0,11	0,10	0,04	0,04	0,04
Média	10,25	11,00		0,10	0,12		0,04	0,04	
CV %		16,07			37,37			27,48	

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Segundo Fornasieri Filho (1992), a partir de 1970, melhoristas genéticos tendo como princípio de que plantas de menor estatura e folhas eretas permitiriam uma maior densidade populacional, além de possibilitar maior produtividade devido a maior capacidade fotossintética, passaram a se atentar sobre a arquitetura das plantas. Desde então, variedades de milho híbrido com porte baixo, menor número de folhas com características eretófilas, tem tido grande ênfase dos programas de melhoramento (ALMEIDA et al., 2000).

Essa arquitetura de plantas, caracterizada por variedades de híbridos superprecoces, contribui para aumentar a eficiência no uso da radiação solar mesmo quando semeados em altas densidades, pois a presença de menor número de folhas eretófilas e de menor área foliar reduz a interferência de uma planta sobre a outra proporcionando benefícios ao rendimento com a utilização de maior número de plantas por área (TOLLENAAR et al., 1997).

Neste ensaio, o milho AG1051, que por sua vez é caracterizado como planta de porte alto, folhas largas, compridas e angulação de aproximadamente 90° em relação ao colmo, propiciou a intensificação da competição por luz devido ao espaçamento reduzido entre as plantas, fato que pode explicar o aumento da altura de planta (SEMENTES AGROCERES, 2018).

Para a altura de planta e altura da inserção da espiga, é possível observar na Tabela 9 que a irrigação não influenciou apesar da altura das plantas cultivadas.

Tabela 9 - Análise de variância das variáveis: altura de planta (AP) e altura de inserção da primeira espiga de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.

Saída	AP (m ⁻¹)			AIE (m ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	2,60	2,75	2,68	1,29	1,38	1,34
Fenda	2,82	2,65	2,74	1,32	1,29	1,31
Média	2,71	2,70		1,31	1,34	
CV %	15,11			8,69		

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os dados demonstram que as plantas e altura de inserção da primeira espiga em todos os tratamentos apresentaram porte alto. Esse fato possivelmente deve-se

ao estímulo da dominância apical com alongação de entrenós ocorrida pela competição intraespecífica por luz.

Quanto ao diâmetro de colmo, massa de colmo fresca e massa de colmo seca, é possível observar na Tabela 10 que a distribuição de água por fluxo contínuo e pulso, além das saídas de água do tipo cilíndrico e fenda, não interferiram nos resultados de maneira significativa, conforme teste de Tukey.

Tabela 10 - Análise de variância das variáveis: diâmetro de colmo (DC), massa de colmo fresca (MCF) e massa de colmo seca (MCS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.

Saída	DC (mm ⁻¹)			MCF (g ⁻¹)			MCS (g ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	23,35	23,78	23,57	0,35	0,40	0,37	0,10	0,11	0,11
Fenda	23,52	24,14	23,83	0,40	0,36	0,38	0,10	0,10	0,10
Média	23,44	23,96		0,37	0,38		0,10	0,11	
CV %		3,57			10,57			11,38	

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), o diâmetro de colmo é importante, pois não somente atua como suporte de folhas e inflorescências, mas também como acúmulo de sólidos solúveis e fotoassimilados. Tal acúmulo ocorre após o término do desenvolvimento vegetativo e antes do início do enchimento de grãos, pois até esse ponto, todo o carboidrato foi utilizado na formação de novas folhas (MAGALHÃES; PAIVA, 1993).

Quanto à massa de colmo fresca, não houve diferenças significativas, mantendo-se todos os tratamentos com valores muito próximos entre si. O mesmo padrão se identificou nas análises para massa de colmo seca, onde a irrigação não influenciou significativamente nos resultados.

Conforme é possível ver na Figura 8 praticamente todo o volume do vaso foi preenchido com o sistema radicular das plantas cultivadas no presente experimento, porém, para todos os tratamentos não houve diferença estatística significativa a 5% segundo teste de Tukey, influenciados pelos diferentes fluxos de irrigação e saídas de água dos emissores (Tabela 11).

Figura 8 – Sistema radicular das plantas cultivadas.

Tabela 11 - Análise de variância das variáveis: massa de raiz fresca (MRF), massa de raiz seca (MRS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.

Saída	MRF (g ⁻¹)			MRS (g ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	0,08	0,09	0,09	0,03	0,03	0,03
Fenda	0,08	0,06	0,07	0,03	0,03	0,03
Média	0,08	0,08		0,03	0,03	
CV %	41,55			27,86		

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Para a análise do sistema radicular, não houve diferença estatística entre os tratamentos, porém, foi possível visualizar a diferença dos sistemas radiculares em relação a distribuição de água por fluxo contínuo comparado a distribuição por pulso. Para ambos os tipos de saída, cilíndrico e fenda, a distribuição de água em pulsos, o sistema radicular das plantas apresentaram maior volume, caracterizadas por alto índice de radículas. Já os tratamentos com distribuição de água em fluxo contínuo, apresentou menor volume, porém com raízes de maior diâmetro. Esse fato pode ser explicado pelo equilíbrio de ar e água que a distribuição de água por pulsos proporciona, estimulando o desenvolvimento de raízes absorventes.

Referente às espigas comerciais empalhadas e despalhadas, na Tabela 12 é possível observar que em todos os tratamentos não houve diferença estatística significativa, tanto em relação à distribuição de água quanto à saída do emissor.

Tabela 12 - Análise de variância das variáveis: massa fresca de espiga com palha (MFECP), massa fresca de espiga sem palha (MFESP) e massa seca de espiga sem palha (MSESP) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.

Saída	MFECP (g ⁻¹)			MFESP (g ⁻¹)			MSESP (g ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	0,35	0,41	0,38	0,31	0,28	0,29	0,14	0,15	0,14
Fenda	0,34	0,36	0,35	0,23	0,26	0,25	0,13	0,14	0,13
Média	0,35	0,38		0,27	0,27		0,13	0,14	
CV %		24,47			33,40			17,07	

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Apesar de não haver diferença estatística significativa a 5% segundo o teste de Tukey, os tratamentos onde a distribuição de água foi realizada por pulsos, apresentou média de 60 g a mais em relação à distribuição em fluxo contínuo nos emissores com saída do tipo cilíndrica para a análise de massa fresca de espiga com palha. Já na saída do tipo fenda, manteve-se o mesmo padrão de resposta, porém, apresentando espigas empalhadas com massa média 20 g maior. Esse fato pode ser explicado pelo maior volume de radículas, responsáveis pela absorção de nutrientes, encontradas nos tratamentos irrigados em pulsos, devido ao equilíbrio ar-água presente no tratamento. Para a massa fresca de espiga sem palha, os padrões se repetem com exceção do tratamento 1 (irrigação por fluxo contínuo com saída do tipo cilíndrica), onde apresenta média de 30 g mais massa do o tratamento de mesma saída com distribuição por pulsos. Quanto à massa seca de espigas sem palha, os valores em todos os tratamentos se mantiveram semelhantes.

Na Tabela 13 é possível observar os dados referentes ao comprimento de espiga, número de fileiras e diâmetro da espiga, principais fatores que o consumidor final leva em consideração na hora da compra.

Tabela 13 - Análise de variância das variáveis: comprimento de espiga (CE), número de fileiras por espiga (NFE) e diâmetro de espiga (DE) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico efenda.

Saída	CE (cm ⁻¹)			NFE			DE (mm ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	19,12	21,41	20,27	16,00	14,00	15,00	50,18	50,22	50,20
Fenda	19,53	20,15	19,84	15,00	14,25	14,63	49,57	50,15	49,86
Média	19,33	20,78		15,50	14,13		49,88	50,18	
CV %		10,03			7,49			5,94	

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

O comprimento da espiga é uma das mais importantes características indicativas da qualidade comercial (Vieira, 2007). Apesar de não apresentar diferença estatística entre os tratamentos, é possível observar que os tratamentos que obtiveram melhores resultados são os que tiveram a distribuição de água por pulsos. Assim como nas variáveis de massa fresca de espiga com palha, o maior comprimento das espigas nos tratamentos com distribuição por pulsos pode ser explicado pelo maior volume de raízes absorventes proporcionados pelo equilíbrio de ar-água do solo.

Os comprimentos encontrados nesta pesquisa diferem do Rocha (2008), onde avaliando o desempenho de cultivares de milho verde submetida a diferentes populações de plantas em condições de irrigação, encontrou para a variedade AG1051 o comprimento médio de 17,7 cm para espigas despalhadas.

Quanto à variável número de fileiras de grãos por espiga, apesar de não apresentar diferença estatística significativa a 5% segundo teste de Tukey, é possível observar que os tratamentos que receberam irrigação por fluxo contínuo apresentaram de 1 a 2 fileiras de grãos a mais em relação às mesmas saídas com irrigação distribuída em pulsos. Tetio-kagho e Gardner (1988) e Otegui (1997) relatam que o número de fileira é estável, onde os efeitos genéticos são mais significativos do que os ambientais.

Na variável diâmetro de espiga, vê-se que os valores observados em todos os tratamentos são muito próximos, média de espigas com 50 mm de diâmetro. Esses valores estão acima dos encontrados por Rocha (2008), onde encontrou diâmetro médio de 46,7 mm de diâmetro para a variedade AG1051.

Em relação ao diâmetro de sabugo, é possível observar na Tabela 14 os dados obtidos nos tratamentos, onde não houve diferença estatística significativa quando levado em consideração a irrigação com distribuição por fluxo contínuo e pulso, além de saídas do tipo cilíndrico e fenda.

Tabela 14 - Análise de variância das variáveis: diâmetro de sabugo (DS) de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico e fenda.

Saída	DS (mm ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	28,09	27,73	27,91
Fenda	26,99	28,55	27,77
Média	27,54	28,14	
CV %	5,40		

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Klein (2011) relata que quanto maior a massa do sabugo, maior será a massa de grãos, principalmente se tratando de híbridos que tem por finalidade a produção de grãos.

Almeida (2016) em sua pesquisa, onde avaliou o déficit e excesso de hídrico na cultura do milho em ambiente protegido, obteve sabugos com média de 30 mm de diâmetro, aproximadamente 10% maior que a menor média encontrada na presente pesquisa. Contudo, o tratamento que apresentou o maior diâmetro de sabugo foi o tratamento 4, saída tipo fenda com irrigação distribuída por pulsos.

Os dados referentes a produtividades, tais como número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e produtividade (t ha⁻¹) se encontra na Tabela 15, onde é possível verificar que não houve diferença estatística significativa a 5% de probabilidade segundo o teste de Tukey.

Tabela 15 - Análise de variância das variáveis: número de grãos por espiga (NGE), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade (P) em t ha⁻¹ de milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico efenda.

Saída	NGE			M100G (g ⁻¹)			P (t ha ⁻¹)		
	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média	Contínuo	Pulso	Média
Cilíndrica	489,75	541,25	515,50	0,02	0,02	0,02	11,71	12,33	12,02
Fenda	538,00	519,25	528,63	0,02	0,02	0,02	11,94	10,98	11,46
Média	513,88	530,25		0,02	0,02		11,83	11,65	
CV %		11,47			3,78			11,55	

Médias sem letras, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Quanto aos números de grãos, os dados nos permite observar que quanto aos números de grãos, apesar de não apresentar diferença estatística, o tratamento 1 apresentou o menor resultado em relação aos demais tratamentos, apresentando aproximadamente 51 grãos a menos que o tratamento 2, o qual obteve o melhor resultado. Bem acima dos resultados obtidos por Brachtvogel (2008), que avaliou as densidades e arranjos populacionais de milho e componentes agronômicos, encontrando média de 471 grãos por espiga, e acima dos valores obtidos por Almeida (2016), com média máxima de 457 grãos por espiga.

Quanto a massa de 100 grãos, não houve diferença estatística entre os tratamentos tanto em relação aos tipos de saída e a forma de distribuição de água.

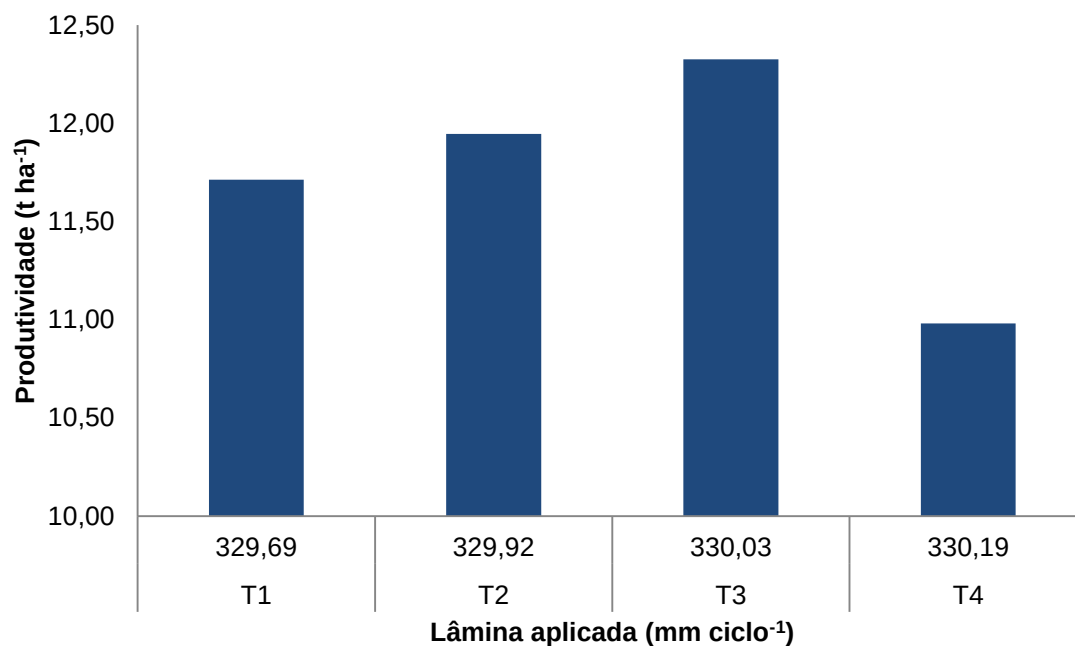
Em relação à produtividade, apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos, é possível observar que o tratamento de número 2 obteve o maior resultado comparando com os demais, aproximadamente 1,35 t ha⁻¹ a mais que o tratamento de menor produtividade. Apesar da massa média dos grãos apresentarem o mesmo resultado dos demais tratamentos, o tratamento com saída do emissor cilíndrica e distribuição por pulso apresentou maior número de grãos por espigas.

4.2.2 Análises de irrigação

4.2.2.1 Eficiência do uso da água de irrigação (EUAI)

A Figura 9 mostra a Produtividade (t ha^{-1}) referente a cada tratamento e suas respectivas lâminas (mm ciclo^{-1}).

Figura 9 – Médias de produtividade t ha^{-1} em relação as lâminas aplicadas no ciclo em mm^{-1} para cada tratamento.



Na Figura 9 é possível observar que o tratamento 3, caracterizado pela irrigação distribuída em pulsos com saída do tipo fenda apresentou a maior produtividade (t ha^{-1}) e a segunda maior lâmina aplicada (mm^{-1}) durante todo o ciclo (Tabela 16).

Tabela 16 - Valores médios das variáveis: lâmina aplicada (mm ciclo^{-1}), produtividade (t ha^{-1}) e eficiência do uso da água de irrigação ($\text{t ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$) em milho submetido à irrigação subsuperficial por fluxo contínuo e pulso com saídas do tipo cilíndrico efenda.

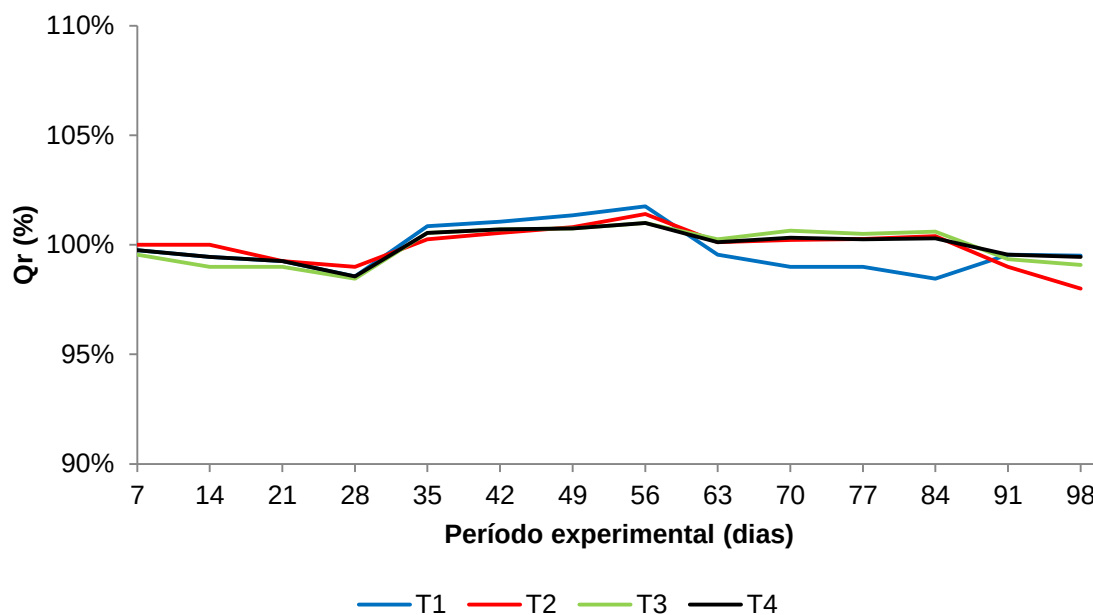
Tratamentos	Lâminas aplicadas	Produtividade	EUAI
T1	329,69	11,71	0,04
T2	329,92	11,94	0,04
T3	330,03	12,33	0,04
T4	330,19	10,98	0,03

Observando a Tabela 16, é possível ver que os tratamentos 1, 2 e 3 obtiveram a mesma eficiência no uso da água de irrigação, média de $0,04 \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. O tratamento que obteve a menor eficiência foi o caracterizado por saída do tipo fenda com irrigação distribuída por pulsos.

4.2.2.2 Índice de intrusão radicular (IIR)

Na Figura 10 é possível visualizar as vazões médias relativas semanais registradas ao longo do período experimental para cada tratamento.

Figura 10 – Vazão relativa semanal em (%) registrados no período experimental para cada tratamento.



Conforme Figura 10, é visto que apesar dos tratamentos apresentarem padrões de comportamento parecidos, houve ligeira diminuição no tratamento 1 na 10ª semana, porém o tratamento 2 finalizou o ciclo com a menor vazão relativa em relação aos demais tratamentos (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17 - Média semanal da vazão relativa dos emissores (Q_R – %) registradas nos hidrômetros.

Dias	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
7	100%	100%	100%	100%
14	99%	100%	99%	99%
21	99%	99%	99%	99%
28	99%	99%	98%	99%
35	101%	100%	101%	101%
42	101%	101%	101%	101%
49	101%	101%	101%	101%
56	102%	101%	101%	101%
63	100%	100%	100%	100%
70	99%	100%	101%	100%
77	99%	100%	101%	100%
84	98%	100%	101%	100%
91	100%	99%	99%	100%
98	100%	98%	99%	99%

Tabela 18 - Média semanal da vazão atual dos emissores (Q_a – L^{-1}) registradas nos hidrômetros.

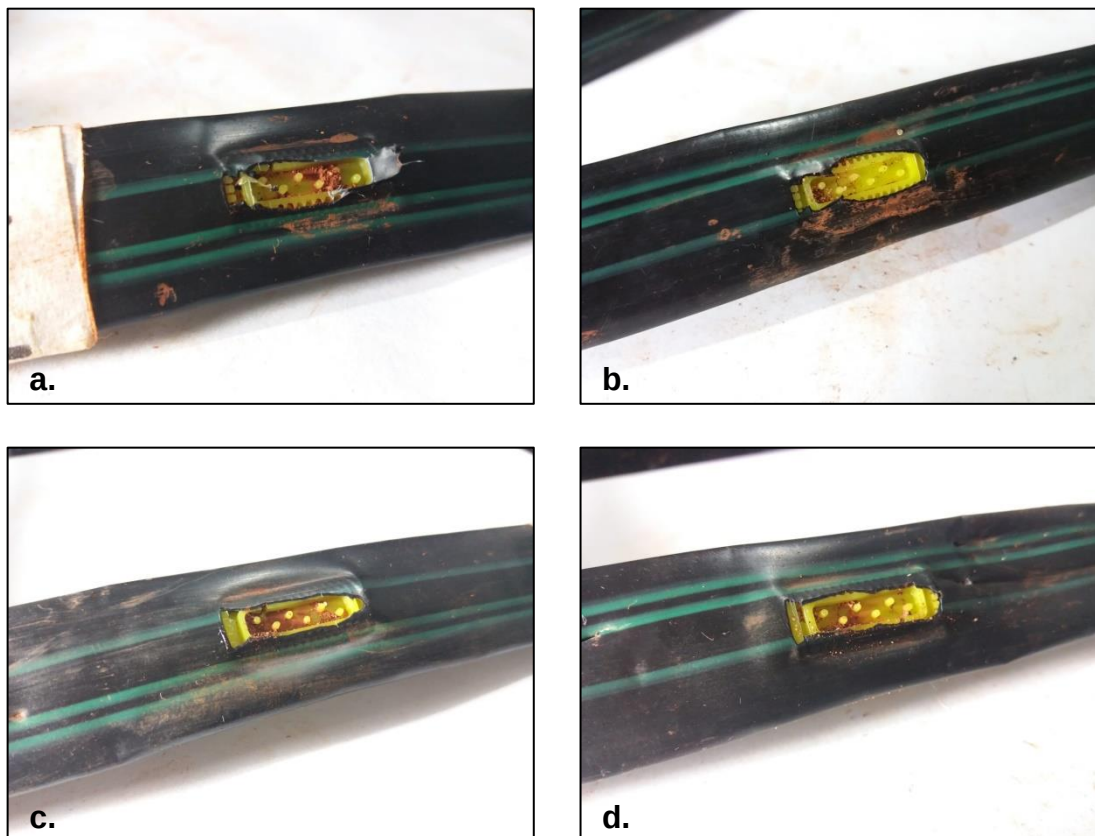
Dias	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
7	6,71	6,73	6,70	6,71
14	5,90	5,93	5,87	5,90
21	5,83	5,83	5,81	5,83
28	4,84	4,86	4,84	4,84
35	7,19	7,14	7,16	7,16
42	8,56	8,51	8,53	8,53
49	8,76	8,72	8,71	8,71
56	6,47	6,44	6,42	6,42
63	5,83	5,86	5,87	5,86
70	5,56	5,63	5,65	5,63
77	5,77	5,84	5,86	5,84
84	5,79	5,90	5,92	5,90
91	6,38	6,34	6,36	6,38
98	7,16	7,06	7,13	7,16

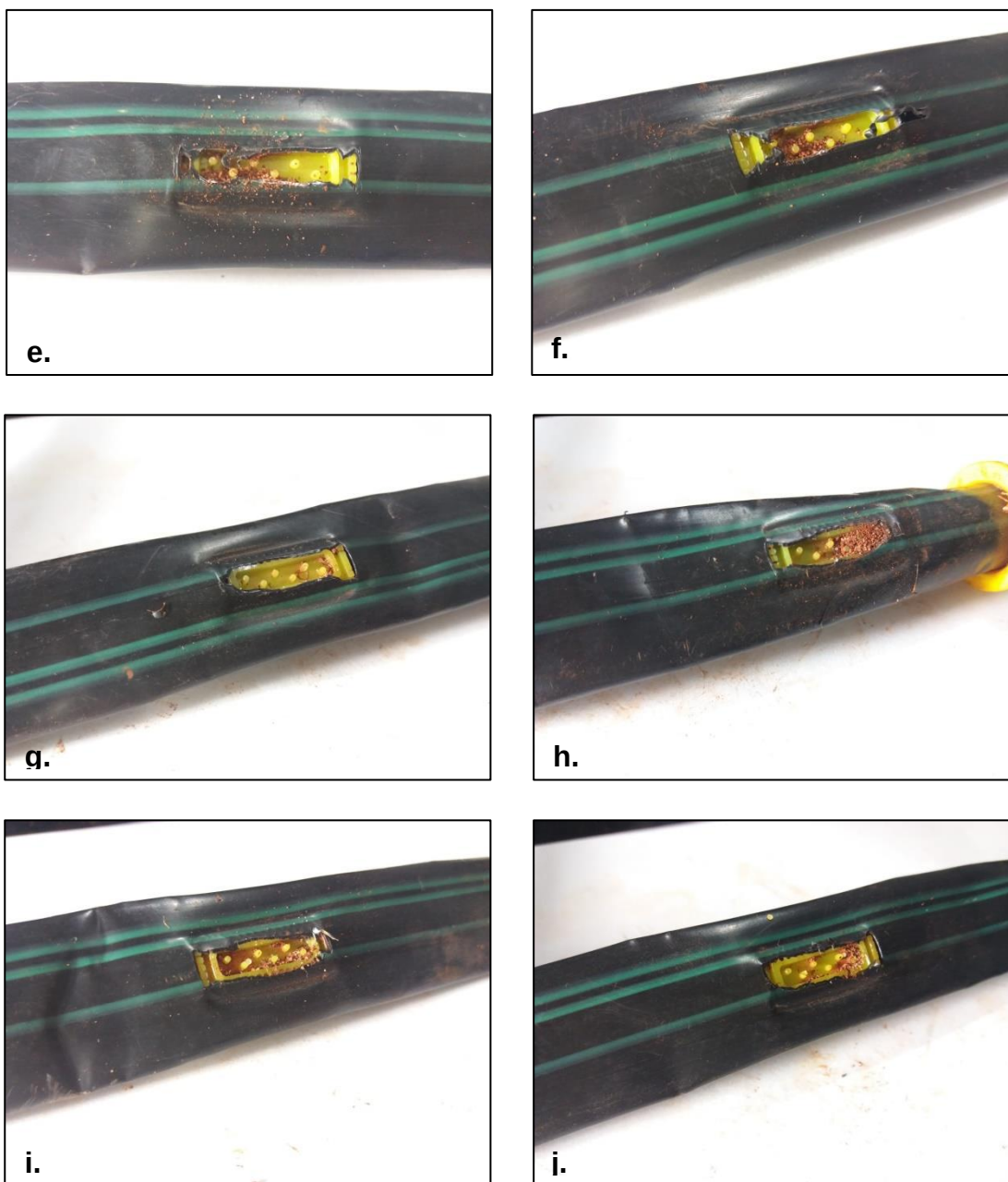
Comparando os dados da Tabela 17 com a tabela adaptada de Hernandez (2010), observa-se que todos os tratamentos apresentam índice de intrusão radicular nulo, pois ambos no final do ciclo apresentaram Q_R igual ou menor que 2%.

4.2.2.3 Caracterização de intrusão radicular (CIR)

Para a caracterização de intrusão radicular, ao final do ciclo da cultura de milho, os tubos gotejadores foram retirados, limpos e posteriormente abertos para análise visual dos emissores. Para facilitar a visualização, as fotos serão apresentadas na ordem de repetições, sendo as repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente. Cada repetição é constituída de 2 emissores (Figura 11).

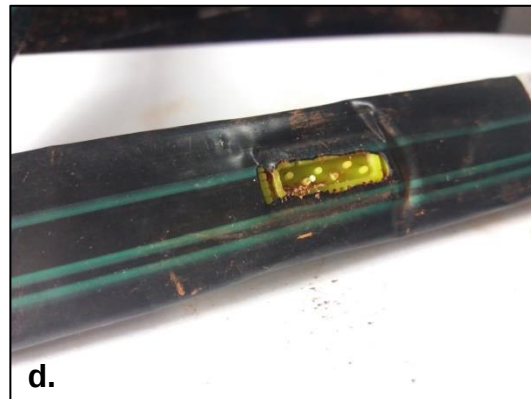
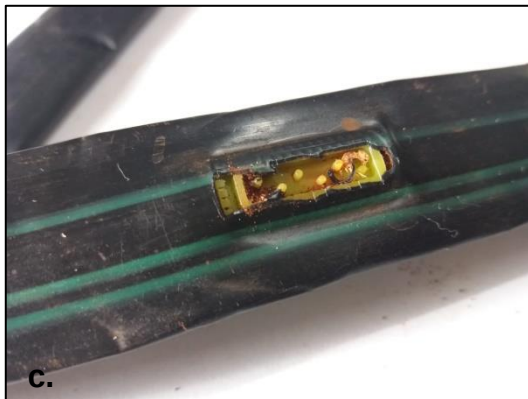
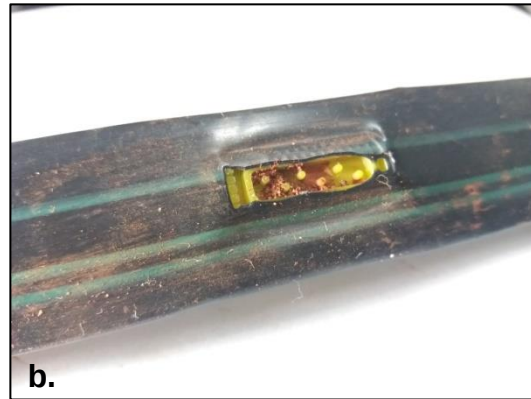
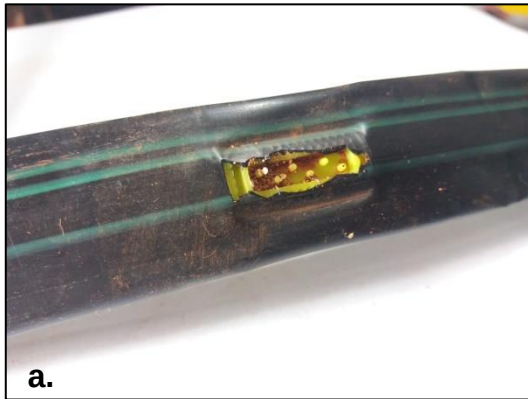
Figura 11 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 1, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por fluxo contínuo.

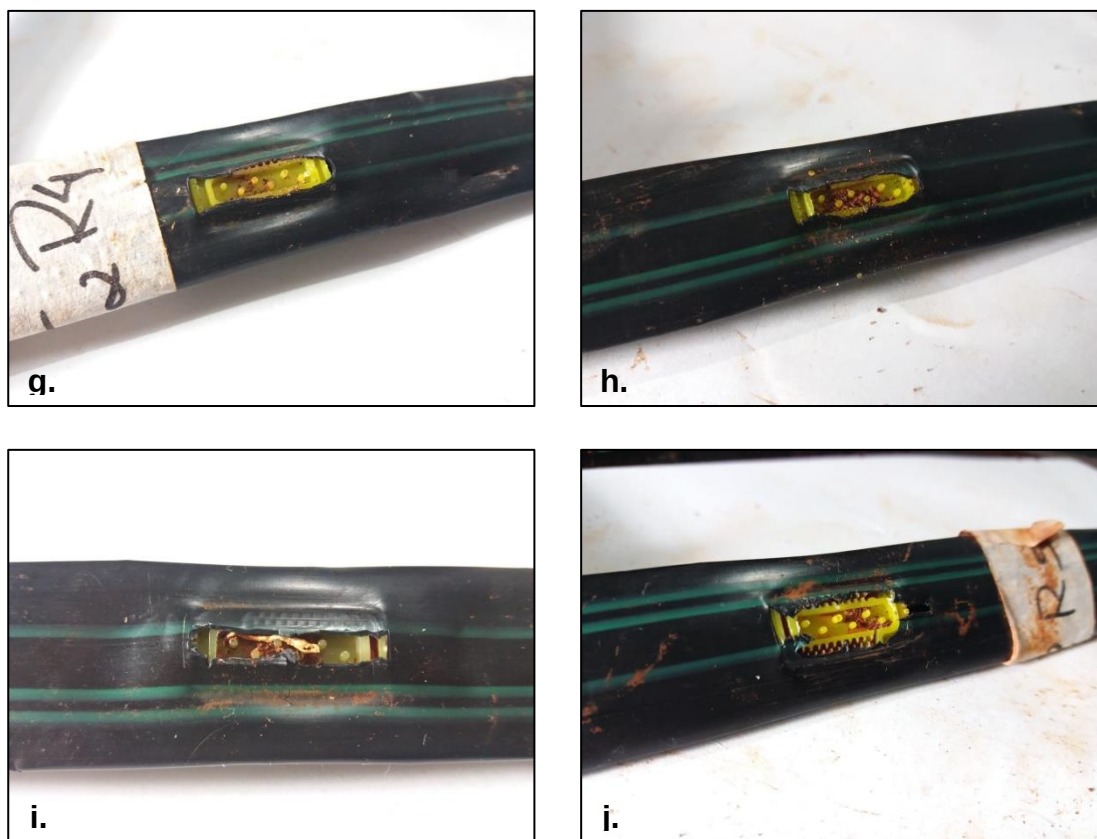




Como visto nas Figuras 11a a 11j, o tratamento 1 apresenta alto índice de partículas sólidas em todos os emissores, porém, não há presença de raízes. Sendo assim, é tido com nota “0”, onde não há presença de raízes.

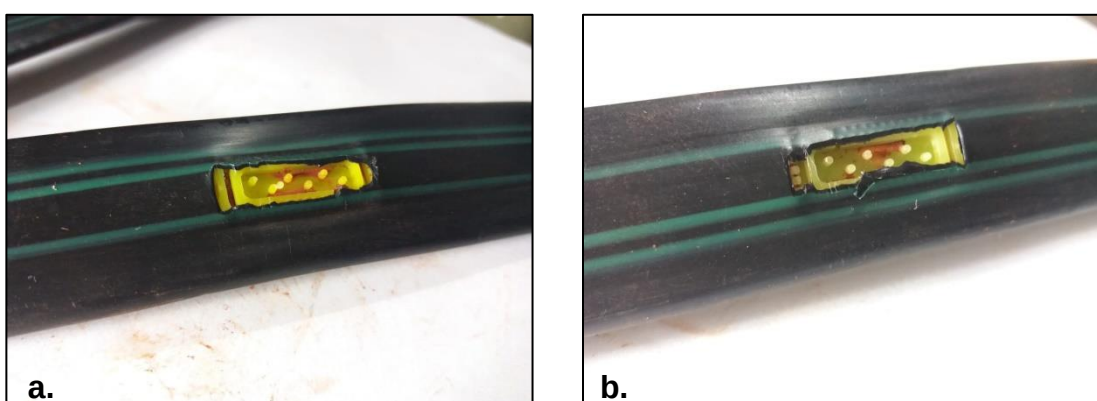
Figura 12 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 2, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por pulsos.

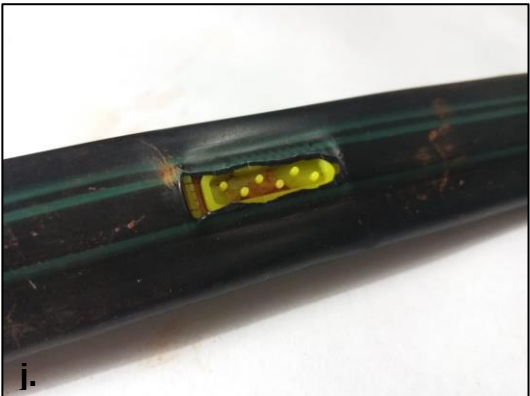
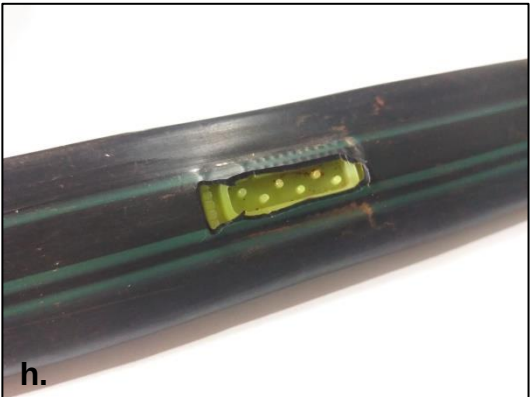
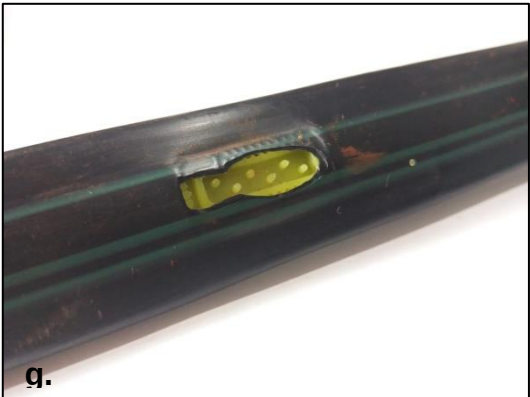
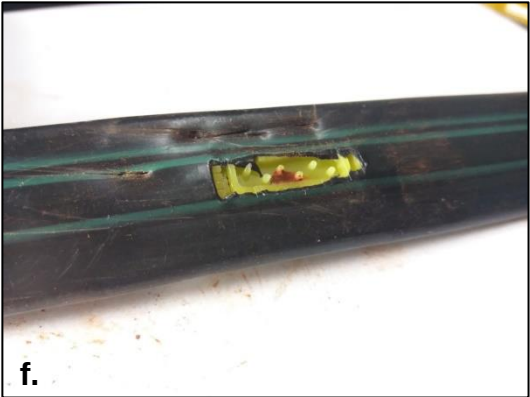
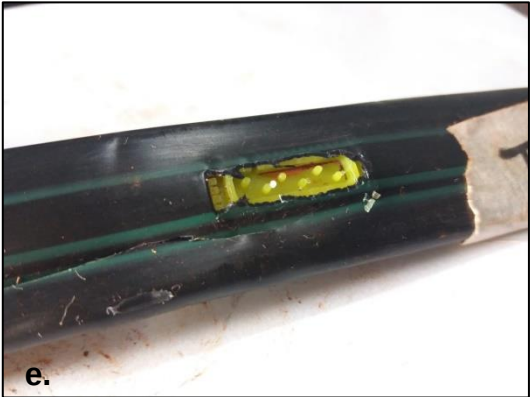




Para o tratamento 2 (Figuras 12a a 12j), caracterizado por saída do tipo cilíndrica com irrigação distribuída por pulsos, como mostra nas figuras acima, nas repetições 2 e 5 (Figuras 12g e 12j) apresentaram raízes dentro dos emissores. As raízes adentradas na câmara de água do emissor possui comprimento de 8,5 mm e 12,3 mm, respectivamente, porém, não apresentou características de emaranhamento, recebendo nota “2”.

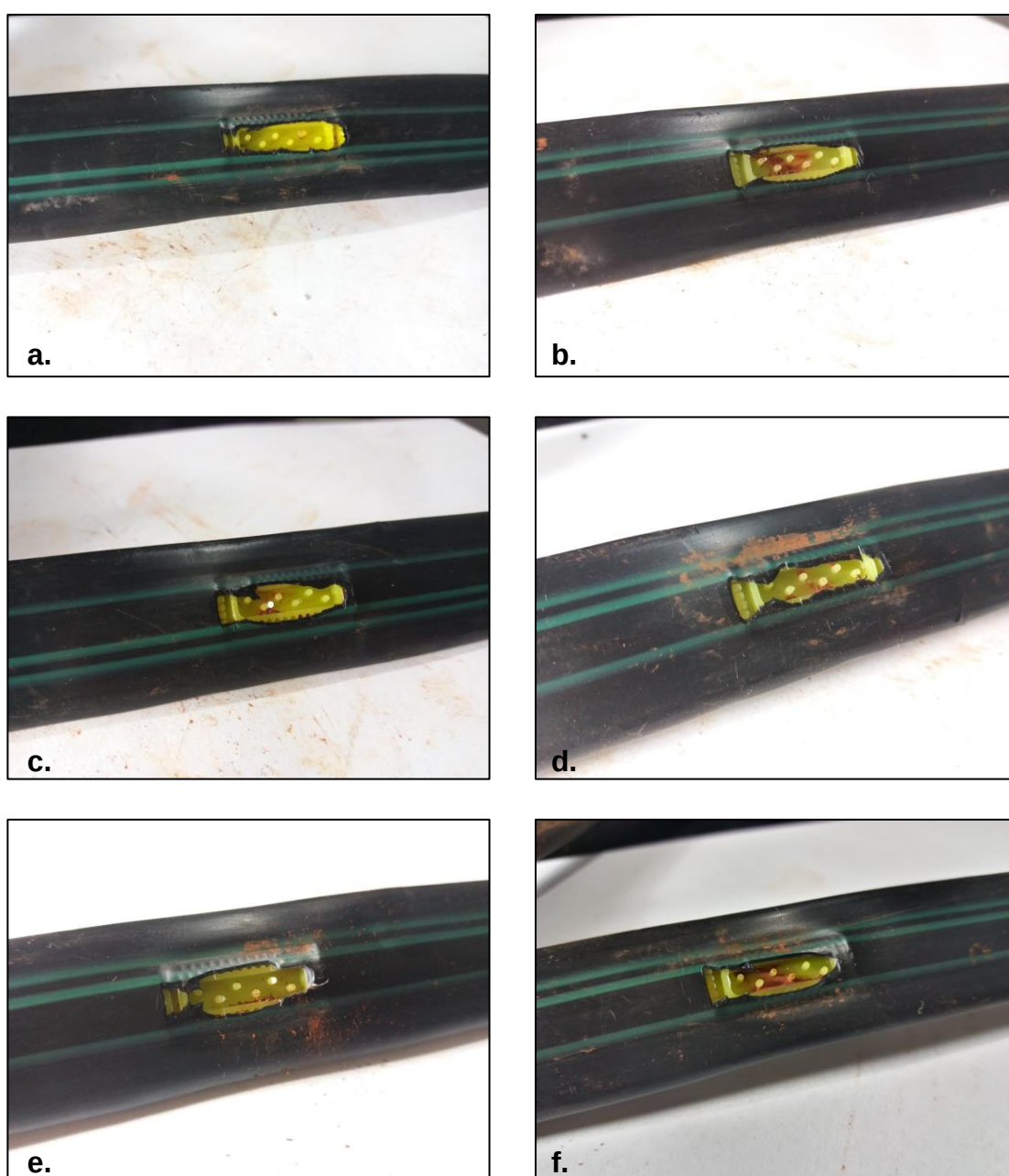
Figura 13 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 3, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por pulsos.

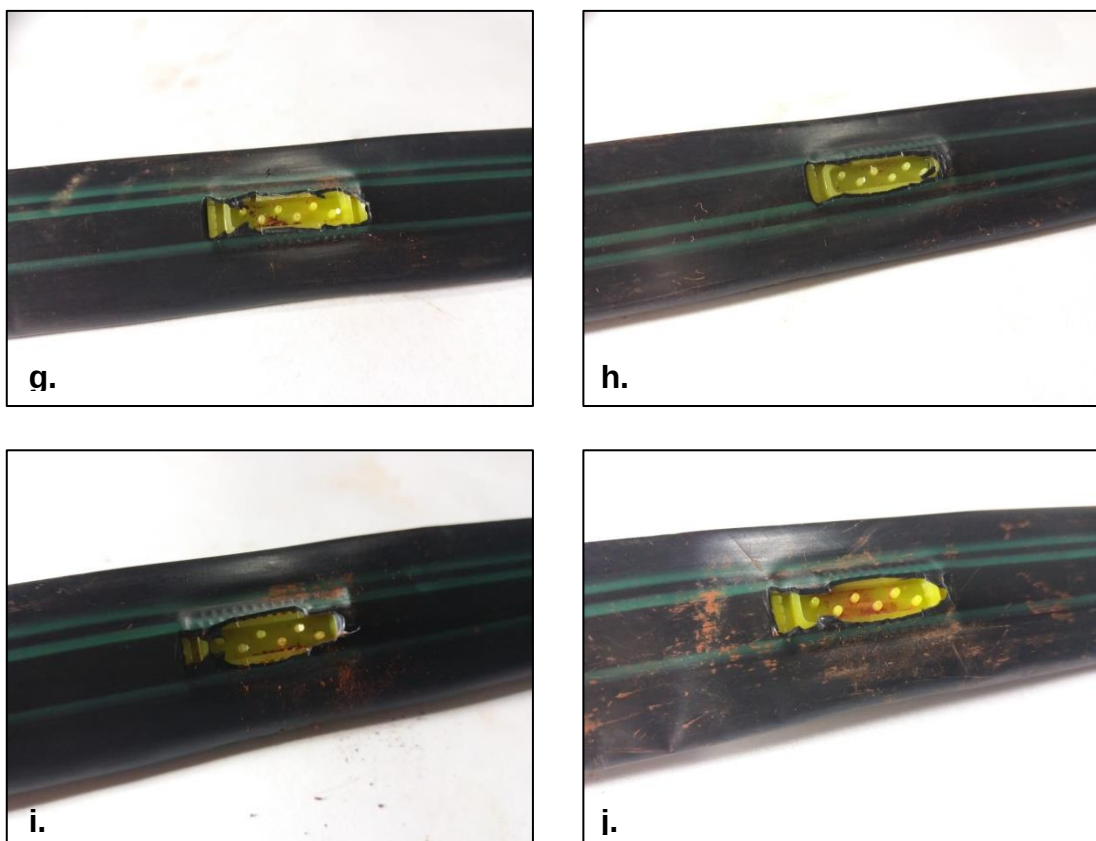




Em análise visual realizada no tratamento 3 (Figuras 13a a 13j), não observou-se raízes no interior dos emissores utilizados durante o experimento. Por não haver presença de raízes adentradas nos emissores e orifícios, o tratamento em questão recebeu nota “0”.

Figura 14 – Análise visual dos emissores pertencentes aos tratamentos 4, repetições 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente, caracterizada por saída cilíndrica e irrigação distribuída por pulsos.





Referente à análise visual do tratamento 4 (Figuras 14a a 14j), em todos os emissores não apresentaram intrusão radicular. Portanto, este tratamento se categoriza com nota “0” referente ao índice de intrusão radicular.

Comparando os tratamentos em relação as análises visuais de índice de intrusão radicular, observa-se que o único tratamento que apresentou intrusão radicular nos emissores foi o tratamento 2 em 2 das 5 repetições, esse fato pode ser explicado pela junção de 2 fatores, o fato de estar utilizando a irrigação distribuída em pulsos estimula o desenvolvimento de raízes, tendo em vista o equilíbrio de ar e água presente no solo, aumentando o volume de radículas, propiciando a intrusão. Outro fator que pode ser levado em consideração, é o fato de no tratamento 2 a saída de água dos emissores são cilíndricas e não possui a proteção física, assim como o tratamento 4 (saída tipo fenda), que recebeu a mesma distribuição de água que o tratamento 2, porém, não apresentou intrusão radiculares.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos sugerem maiores pesquisas a serem realizadas quanto ao assunto.

Em novas pesquisas, sugere-se a utilização de tensiometria para diferenciações de lâmina e utilização de gramínea de raiz agressiva e de ciclo longo como cultura para avaliação de intrusão em longo prazo. Sugere-se ainda a realização de ensaio a campo.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram evidenciar que tanto as saídas do tipo fenda, quanto cilíndrica apresentaram bom desempenho quanto à vazão, não apresentando diferença estatística quanto a intrusão radicular.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; ENDER, M. Incremento na densidade de plantas: uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 23-29, 2000.
- ALMEIDA, W. F. **Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na formação do bulbo molhado e produtividade da alface Americana**. 2012. 80 f. Tese (Doutorado em engenharia agrícola) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- ALMEIDA, M. A. **Déficit e excesso de hídrico na cultura do milho em ambiente protegido**. 2016. 124 f. Tese (Doutorado em agronomia/ engenharia de sistemas agrícolas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- AYARS, J. E., C. J. PHENE, R. B. HUTMACHER, K. R. DAVIS, R. A. SCHONEMAN, S. S. VAIL AND R. M. MEAD. Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. **Agric. Water Manage.** p. 1-27, 1999.
- BAKEER, G. A. A.; EL-EBABI, F. G.; EL-SAIDI, M. T.; ABDELGHANY, A. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in Sandy soils. **Misr Society of Agricultural Engineering**, Cairo, v. 26, n. 2, p. 736-765, 2009.
- BARTH, H. K. Sustainable and effective irrigation through a new subsoil irrigation system (SIS). **Agricultural Water Management**, v.40, n.2-3, p.283-290, 1999.
- BAR-YOSEF, B.; SAGIV, B.; MARKOVITCH, T. Sweet corn response to surface and subsurface trickle phosphorus fertigation. **Agronomy Journal**, v. 81. p. 443–447, 1989.
- BERGAMASCHI, H.; RADIN, B.; ROSA, L. M. G.; BERGONCI, J. I.; ARAGONÉS, R.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; LANGENSIEPEN, M. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, v.1, p.23-27, 2001.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.
- BRACHTVOGEL, E. L. **População de plantas e uso de piraclostrobina na cultura do milho: alterações agrônômicas e fisiológicas**. 2010. 150 f. Tese (Doutorado em agronomia/ agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- BUCKS, D. A.; ERIE, F. J.; FRENCH, O. F.; NAKAYAMA, F. S.; PEWW, W. D. Subsurface trickle irrigation management with multiple cropping. **Transactions of the ASAE**, v. 24. N. 6. p. 1481–1489. 1981

CAMP, C. R. Subsurface drip irrigation: a review. **Trasactions of ASAE**, v.41, n.5, p.1353-1376, 1998.

CAMP, C. R.; LAMM, F. R.; EVANS, R.G.; PHENE, J. Subsurface drip irrigation-past, present and future. In: Decendial national irrigation symposium, 4, Phoenix. 2000. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, p. 363-372, 2000.

CANCELLIER, L. L., AFFÉRRI, F. S., ADORIAN, G. C., RODRIGUES, H. V. M., MELO, A. V., PIRES, L. P. M., CANCELLIER, E. L. Adubação orgânica na linha de semeadura no desenvolvimento e produtividade do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32 n. 2, p. 527-540, 2011.

COELHO, R. D.; FARIA, L. F.; MELO, R. F. Variação de vazão em gotejadores convencionais enterrados por intrusão radicular na irrigação de citros. **Irriga**, v.11, n. 2, p.230-245, 2006.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Acompanhamento da safra brasileira, v. 6. – safra 2018/ 2019, n. 10 – décimo levantamento, Julho 2019. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 257 Jul. 2019.

CRUZ, C. S. A. 2013, 88 f. **Emprego de óleos vegetais e glicerina no controle do gorgulho do milho**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, 2013.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Israel: International Irrigation Information Center (IIIC), n. 9, 1985. 95 p.

DETAR, W. R.; BROWNE, G. T.; PHENE, C. J. Real-time irrigation scheduling of potatoes with sprinkler and subsurface drip system. In: **International Conference On Evapotranspiration And Irrigation scheduling**. St. Joseph, Proceedings. St. Joseph: ASAE, p. 812-824, 1996.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. Rome: **FAO**, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA. **A cultura do milho irrigado**. Embrapa Informações Tecnológicas, Brasília, DF: EMBRAPA, 2003, 317p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SOLOS, 2006. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA. **Cultivo do Milho**. Sistemas de produção. Versão Eletrônica, 6ª edição. 2010. Disponível em:

<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/imanejo.htm > Acesso em: 28 nov. 2015.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba, SP: Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP, 1999.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 360p.

FANCELLI, A. L., DOURADO NETO, D. **Milho: Tecnologia e Produção**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2005, 149p.

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Safra Mundial de Milho 2014/ 2015**. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/>>. Acesso em: 20 Nov. 2015.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: FUNEP. 1992. 273p.

GASPERINI, A. M. **Biocontrole de Fusarium verticillioides em milho**. 2011. 55 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2011.

GALON, L., TIRONI, S. P., ROCHA, A. A., SOARES, E. R., CONCENÇO, G., ALBERTO, C. M. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 3, p. 18-38, 2010.

GOMES, G. P. **Injeção de ar via irrigação por gotejamentos superficial e subsuperficial na cultura da alfafa**. 2015. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

GORDON, W. B.; RANEY, R. J.; STONE, L. R. Irrigation management practices for corn production in north central Kansas. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, n. 4, p. 395-398, 1995.

HERNANDEZ, M. G. R. **Proteção de gotejadores à obstrução por intrusão radicular em irrigação Subsuperficial de figueiras**. 2010. 136 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

HOWELL, T. A. et al. Design and operation of trickle (drip) systems. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1983. p. 661-717.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; EVETT, S. R. Subsurface and surface microirrigation of corn – southern high plains. **Transactions of the ASAE**, v. 40, n. 3, p. 635-641, 1997.

HUTMACKER, R. B. Subsurface drip: improving alfalfa irrigation in the west. **Irrigation Journal**, n.45, p.22-32, 1998.

JUAN, J. A. M. S. **Riego por goteo: teoría y práctica**. 4. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. 302 p.

KARMELI, D.; PERI, G. Basic principles of pulse irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 100, n. 3, p. 309-319, 1974.

KELLER, J.; BLIESNER, I. D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

KLEIN, C. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um latossolo vermelho em plantio direto escarificado sobre o rendimento de grãos de milho**. 2011. 120 f. Dissertação (mestrado em agronomia/ produção vegetal) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

MAGALHÃES, P. C.; PAIVA, E. Fisiologia da produção de milho. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Recomendações técnicas para o cultivo do milho**. Brasília: EMBRAPA, SPI. p. 85-92, 1993.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio, Brasil 2014/ 15 a 2024/ 25**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOES_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf>. Acesso em: 22 Nov. 2015.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da irrigação por gotejamento subsuperficial. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n. 1, p. 17-31, 2006.

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S. L.; BERGAMASCHI, H. Relações entre a evapotranspiração do milho e as fórmulas de Penman e Thornthwaite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p.1207-1214, 1983.

MOSTAGHIMI, S.; MITCHELL, J. K. Pulsed trickling effects on soil moisture distribution. **Water Resources Bul.** p. 605-612, 1983.

ORON, G.; deMALACH, J.; HOFFMAN, Z. CIBOTARU, R. Subsurface microirrigation with effluent. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, v.117, n.1, p.25-36, 1991.

OTEGUI, M. E. Kernel set and flower synchrony within the ear of maize: II. Plant population effects. **Crop Science**, v. 37, p. 48-45, 1997.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho "safrinha" sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, Campina Grande, 2009.

PHENE, C. J.; BEALE, O. W. High frequency irrigation for water and nutrient management in the humid regions. **Soil Science Society American Journal**, v. 40, p. 430-436, 1976.

PHENE, C. J. et al. advantages of subsurface drip irrigation for processing tomatoes. **Acta Horticulturae**, n. 200, p. 101-113, 1987.

PRADO, L. V. **Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio no rendimento da cultura do milho verde**. 2013. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Produção vegetal) Faculdade de Agronomia, Rio Verde, 2013.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico. 2001. 284 p.

RAJPUT, T. B. S.; PATEL, N. Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. **Irrigation Science**, v.27, p.97-108, 2009.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; LEAL, M. L. S.; da MATA, S. S.; Suscetibilidade à intrusão radicular de gotejadores convencionais na irrigação subsuperficial de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 2, p. 150-165, 2004.

ROCHA, D. R. **Desempenho de cultivares de milho-verde submetidas a diferentes populações de plantas e condições de irrigação**. 2008. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Produção vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

RUSKIN, R.; K. R. FERGUSON. Protection of subsurface drip irrigation systems from root intrusion. In: **Proceedings Irrigation Association Int'l. Technologies Conference**, San Diego – CA, p. 41-48, 1998.

SANTOS, A. O.; PRADO, H., Análise de interações solo-planta-clima em zonas diferenciadas de área de cultivo de milho, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p 101–106, 2002.

SCHIMIDT, A. P. R. **Efeito da espessura da parede no desempenho hidráulico de mangueiras gotejadoras**. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em agronomia/ Irrigação e drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

SEMENTES AGROCERES. Milho AG 1051 – Características agronômicas.

Disponível em:

<http://www.sementesagrocere.com.br/pages/Produto.aspx?p=AG_1051>. Acesso em: 07 Out. 2018.

SOUZA, L. C.; GONÇALVES, M. C. Culturas antecessoras e adubação nitrogenada na produtividade de milho em plantio direto irrigado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 55-62, 2003.

SUAREZ-REY, E.; CHOI, C. Y.; WALKER, P. M. Comparasion of subsurface drip irrigation and sprinkler irrigation of Bermuda grass turf in Arizona. **Transactions of the ASAE**, v. 43, n. 3, p. 631-640, 2000.

SUAREZ-REY, E.; CHOI, C. Y.; MCCLOSKEY, W. B.; KOPEC, D. M. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. **Irrigation and Drainage**, v.55, p.501-509, 2006.

TALLENS, J.A.M. Riego localizado y fertirrigación. Madrid: **Ediciones Mundi-Prensa**, 1994. 363p.

TETIO-KAGHO, F.; GARDNER, F.P. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield, and yield adjustments. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, p. 935-940, 1988.

TOLLENAAR, M ; AGUILERA, A.; NISSENKA, S. P. Grain yield reduce more by weed interference in an old than in a new maize hybrid. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p.239-246, 1997.

VIEIRA, M. A. **Cultivares e população de plantas na produção de milho-verde**. 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.