

SUSCETIBILIDADE À INTRUSÃO RADICULAR DE GOTEJADORES CONVENCIONAIS NA IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR

Ronaldo Souza Resende¹; Rubens Duarte Coelho¹; Maria de Lourdes da Silva Leal²; Samuel Silva da Mata²

¹Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, ronaldo@cpac.embrapa.br

²Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE.

1 RESUMO

Foram avaliados, quanto à ocorrência do processo de intrusão de raízes sob irrigação subsuperficial, sete modelos de gotejadores, sendo esses submetidos a duas profundidades de instalação no solo, P15 (0,15m) e P30 (0,3m), e três condições de enraizamento para a cultura da cana-de-açúcar: a) Úmido, no qual o solo era irrigado quando o potencial da água no solo alcançava -30 kPa b) Seco, quando esse potencial atingia -80 kPa e c) Sem Cultivo (SC), usado como controle e com esquema de irrigação idêntico ao tratamento Úmido. O experimento foi conduzido em vasos e em condição de estufa. A vazão dos gotejadores foi medida mensalmente e por um período de 270 dias, o que correspondeu ao ciclo completo da cultura. Os resultados evidenciaram diferenças estatisticamente significativas entre os modelos avaliados e indicaram não ser o regime de umidade do solo determinante para a ocorrência da intrusão de raízes nos gotejadores.

UNITERMOS: gotejamento; intrusão de raízes; entupimento

**RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; LEAL, M. de L. da S.; MATA, S. S. da
ROOT INTRUSION SUSCEPTIBILITY OF CONVENTIONAL DRIPPERS IN
SUBSUPERFICIAL DRIP IRRIGATION OF SUGAR CANE CROP**

2 ABSTRACTS

In order to evaluate root intrusion potential in subsurface drip irrigation (SDI) of sugar cane crop, seven emitters were tested under controlled environment (greenhouse and vase conditions). The drippers were installed at two different depths: 0.15m and 0.30m from soil surface (P15 and P30) and analyzed under three watering conditions: 1. Moist : irrigation started when the water potential in soil reached -30 kPa (tensiometer); 2. Dry: irrigation started when the water potential in soil reached -80 kPa; and 3. No crop / Moist (NOC): where the vases were kept without any crop (Control) with the same irrigation level of condition 1, isolated from other factors, which could disturb emitters flow rate. Flow rate readings were taken every month in the sugar cane crop (270 days cycle). The results showed remarkable statistically significant differences among tested emitters. Irrigation frequency and soil water potential did not show significant correlation to root intrusion inside the buried emitters.

KEYWORDS: Drip irrigation; root intrusion; clogging

3 INTRODUÇÃO

A irrigação localizada subsuperficial, que se constitui na aplicação localizada de água diretamente na zona radicular da cultura, apresenta elevado potencial de utilização no futuro, em função da perspectiva de eficiência de uso da água, além de ter a vantagem de possibilitar a minimização dos riscos à saúde humana quando da utilização de águas residuais.

Para o sistema de gotejamento enterrado, a intrusão radicular constitui um dos principais aspectos de manejo a ser considerado visando assegurar a vida útil prevista em projeto (CAMP et al., 2000). Na cultura da cana-de-açúcar o problema é ampliado por causa do sistema radicular do tipo fasciculado, aliado às características de plantio em linha contínua.

As principais medidas adotadas pela indústria de equipamentos para contenção da intrusão radicular baseiam-se em princípios químicos, através da incorporação de herbicidas no material plástico do gotejador (CAMP et al., 2000) ou da aplicação de um herbicida ministrado diretamente na água de irrigação (ZOLDOSKE, 1999), e de princípios físicos, ligados à arquitetura interna ou configuração do orifício de saída do gotejador (BARTH, 1999).

A barreira química à intrusão de raízes em gotejamento subsuperficial se constitui em importante ferramenta no sentido de minimizar o problema. Entretanto, além dos aspectos ligados às questões ambientais (resíduo, persistência no solo, contaminação de lençol freático, inexistência de produtos registrados), é mínima a quantidade de estudos envolvendo o manejo da aplicação desses produtos. Por outro lado, a imposição de barreira física à intrusão se constitui numa estratégia de enfrentamento do problema que

esta isenta dos aspectos ambientais acima referidos. Se não no sentido da completa eliminação da necessidade de tratamento químico, mas pelo fato de poder contribuir para reduzir, significativamente, a frequência destes.

A comprovação da ocorrência de intrusão radicular em campo é dificultada justamente pelo fato de as mangueiras estarem enterradas, uma vez que outros fatores podem, também, ocasionar redução de vazão dos emissores, como: entupimento por causas química, física ou biológica (NAKAYAMA & BULKS, 1991), redução da secção transversal do tubo gotejador por ação da compactação da camada de solo acima do tubo (STEELE et al., 1996) e redução do diferencial de pressão no âmbito da saída do emissor, em consequência da saturação do solo (SHANI et al., 1996). Dessa forma, a realização de ensaios em condições controladas faz-se necessária para a determinação do comportamento de diferentes modelos de gotejadores frente às condições favoráveis à intrusão de raízes.

O potencial de aplicação da irrigação localizada subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar cresce à medida que além dos aspectos de eficiência acima citados soma-se a não-interferência nas operações de cultivo na área irrigada, inclusive, na colheita mecânica. Além disso, resta ainda a minimização de danos mecânicos às mangueiras, uma vez que as atividades de preparo do solo se realizam em espaços de tempo bem mais amplos.

O manejo da irrigação pode influenciar a probabilidade de ocorrer intrusão de raízes, justo porque interfere no ambiente imediatamente adjacente ao emissor; irrigação de alta frequência, que mantém o solo em volta do emissor sempre próximo à saturação, pode desencorajar crescimento radicular na área para algumas plantas, mas não para outras. De modo

contrário, déficits de umidade do solo, algumas vezes imposto com o objetivo de controle da frutificação ou da qualidade na maturação ou no crescimento vegetativo, pode aumentar a intrusão como consequência da alta concentração de raízes na área do emissor (CAMP et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar o potencial de intrusão radicular em diversos modelos de gotejadores instalados em diferentes profundidades no solo e sob distintas condições de umidade do solo, quando utilizados em irrigação subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos e em condição de estufa (Figura 1) no Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP/ESALQ, no município de Piracicaba - SP. A metodologia experimental utilizada nesses ensaios foi idealizada por Coelho, R.D.², sendo de caráter original na literatura; ela se baseia no enterrio de gotejadores individualizados em vasos e em condição de ambiente protegido (estufa), de maneira a ser possível a mensuração da vazão de cada gotejador ao longo do experimento, com emissores justapostos em alta densidade, para otimizar o espaço requerido na condução do experimento. O pressuposto básico assumido foi o de que se um determinado modelo é superior a outro em uma condição mais agressiva, em termos de densidade de raízes, ele provavelmente também o será em condição natural de campo. Assim, foi imposto, em um volume de solo reduzido, uma elevada densidade de plantio, visando obter uma condição mais agressiva que o ambiente de campo, com objetivo de acelerar a resposta aos tratamentos.

Um dos vasos foi desmontado aos 240 dias para observação do sistema radicular, portanto, antes do final do período de coleta de

Foram avaliados, quanto à ocorrência do processo de intrusão de raízes sob condição de irrigação subsuperficial, 7 modelos de gotejadores de diferentes marcas comerciais, submetidos a duas profundidades de instalação no solo, P15 (0,15m) e P30 (0,3m), e a três condições de enraizamento: *a*) Úmido (U), no qual a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo; *b*) Seco (S), o solo era mantido sem irrigação até quando o potencial matricial da água no solo atingia -80 kPa; e *c*) Sem Cultivo (SC), no qual os vasos foram mantidos sem cultivo, sendo utilizados para comparação das vazões determinadas nos vasos com cultivo, isolando o efeito de outros fatores causadores de variação de vazão, que não a intrusão de raízes. Nos vasos sem cultivo, a irrigação foi efetuada todas as vezes que se procedia a irrigação no tratamento Úmido. Os modelos avaliados foram todos modelos não compensantes de pressão, com circuito de água do tipo labirinto, expoente de descarga médio de 0,5 e fluxo turbulento. Outras características individuais dos gotejadores encontram-se na Tabela 1.

O período de coleta de dados foi de 270 dias, o que correspondeu ao ciclo produtivo completo da cultura. A análise estatística foi efetuada somente para a última leitura de vazão, aos 270 dias do início do experimento. O delineamento estatístico adotado seguiu um esquema inteiramente casualizado, com parcelas sub-subdivididas, constituindo parcela (em número de 3) a condição de enraizamento (CNU - úmido, CNS - seco e SC - sem cultivo), subparcela (em número de 2) a profundidade de instalação dos gotejadores (P15 e P30) e sub-subparcela os modelos de gotejadores; Para cada condição de enraizamento, foram montados 10 vasos, sendo esse, portanto, o número de repetições. O teste F foi utilizado para a análise de variância e o teste de Tuckey, no nível de 5% de probabilidade, para comparação de médias.

dados, o número de repetições para a análise de variância foi reduzido para nove.

Para possibilitar a avaliação do efeito dos tratamentos e a comparação entre os

gotejadores estudados, os quais apresentam vazões nominais diversas (Tabela 1), os dados de vazão foram proporcionalizados em relação à vazão nominal do respectivo modelo, conforme a equação: $Q_r = (q_a/q_n) \times 100$; onde: Q_r – vazão relativa, %; q_a – vazão atual, $L.h^{-1}$ e q_n – vazão nominal do modelo, $L.h^{-1}$

A variedade de cana plantada foi a SP-801842, que apresenta um desenvolvimento radicular mais agressivo, além de ser uma das mais plantadas no Estado de São Paulo. O plantio foi realizado em 08/05/2001, através de toletes, sendo utilizados dois toletes em cada vaso, na direção longitudinal à maior dimensão

do vaso, com 3 gemas e espaçados de 0,15m e resultando, após replantio para cobrir eventuais falhas de germinação, na manutenção de seis plantas por vaso. Anteriormente ao plantio, foi efetuada uma adubação utilizando um produto de liberação lenta, com relação NPK de 15-9-12 e tempo médio de liberação de 8 a 9 meses. O produto contém, adicionalmente, macronutrientes secundários e micronutriente. Devido ao baixo valor de pH (4,3) detectado na análise química do solo, foi adicionado calcáreo, na dosagem correspondente a $10 Mg.ha^{-1}$, sendo este misturado ao solo, em betoneira, juntamente com o adubo.

Tabela 1. Características operacionais dos gotejadores avaliados

Cód.	Tipo	Vazão ($L.h^{-1}$)	Pressão (kPa)	Espessura de parede (mm)	Ø interno do tubo (mm)
CD	Cilindrico	2,30	100	0,85	13,8
DI	Cilíndrico	1,60	100		
TR	Plano	2,00	100		
DL	Plano	2,00	100	0,50	15,4
HD	Plano	2,30	100		
HG	Cilíndrico	2,00	100		
AQ	Fita	1,44	70	0,15	15,6

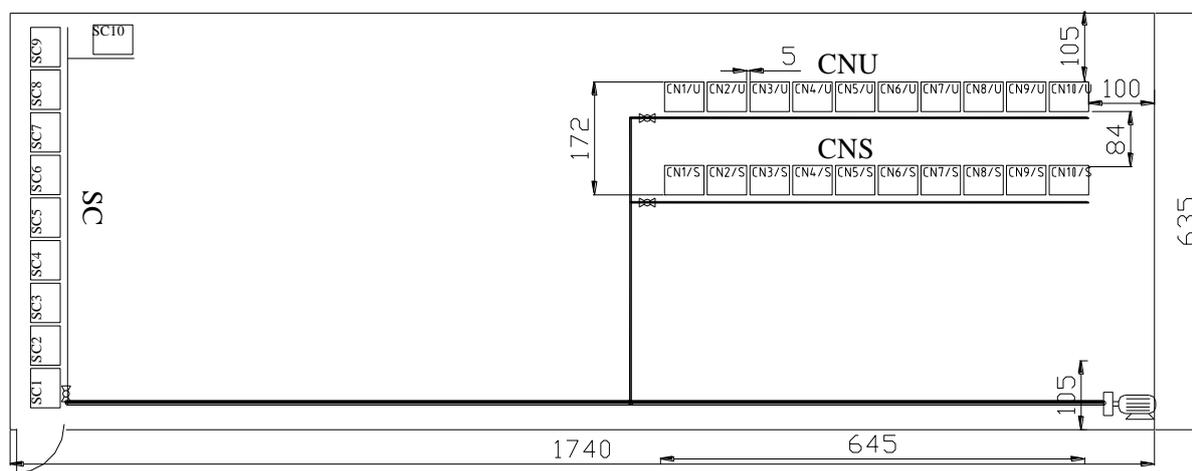


Figura 1 Esquema geral do experimento no interior da estufa destacando os 10 vasos com plantio de cana no regime úmido do solo, CNU, 10 vasos com cana no regime seco, CNS, e 10 vasos sem cultivo, SC.

O solo utilizado nos ensaios foi um Latossolo-Vermelho-Amarelo, com fração granulométrica composta de 28% de argila, 5% de

silte e 67% de areia (3% areia grossa, 24% areia média e 40% areia fina), resultando em uma

textura franco-arenosa e densidade aparente $1,2 \text{ g.dm}^{-3}$ e densidade real de $2,9 \text{ g.dm}^{-3}$.

Para cada regime de umidade avaliado, foram instalados dois tensiômetros, um para cada profundidade de instalação do emissor. A determinação do potencial de água no solo dos vasos foi efetuada diariamente, às 8 horas, por meio de um tensiômetro digital.

Em cada vaso, com dimensões de $0,58 \times 0,45 \times 0,43 \text{ m}$ e capacidade de 100L, foram montados todos os modelos. Para isso os vasos foram perfurados na direção transversal à maior dimensão, de forma que o tubo gotejador, constando de um emissor, o transpassasse. Os tubo gotejadores foram colocados lado a lado, para cada profundidade estudada, sendo suas posições aleatorizadas em cada repetição e profundidade (Figura 2).

Os vasos foram mantidos sobre blocos de cimento nivelados. Com o objetivo de propiciar condição de livre drenagem da água, foram efetuados orifícios no fundo dos vasos e colocado um envelope constituído de uma camada de pedra britada n° 1 e, sobre esta, uma camada de manta de poliéster (Bidim®). Até a formação do sistema radicular das culturas, o solo dos vasos foi mantido próximo à capacidade de campo; a partir daí, a irrigação foi efetuada conforme os tratamentos preestabelecidos. A determinação da vazão dos emissores foi efetuada com frequência mensal, utilizando-se um medidor do tipo

magnético com faixa de medição de $0,01$ a 10 L.h^{-1} e desvio médio na calibração de $\pm 0,11\%$.

Cada gotejador era conectado à linha supridora de água por meio de um microtubo, o qual permitiu que a água fosse canalizada individualmente para cada um deles. No momento da leitura, o medidor era conectado entre a linha lateral supridora de água e o gotejador, permitindo a leitura individual da vazão. Antes da medição da vazão, o solo era saturado com água, no sentido de garantir uma uniformidade de ambiente para todos os gotejadores do vaso. Junto ao medidor de vazão foi instalado um manômetro digital, previamente aferido, para checagem constante da pressão de serviço, não se permitindo variações maiores que 5 kPa .

Com o propósito de evitar a ocorrência de entupimento de emissores por causa outras que não a intrusão de raízes, a água utilizada nos experimentos foi oriunda do sistema de abastecimento urbano, o que reduziu a probabilidade de ocorrência de entupimento de causa biológica ou física; a análise de caracterização da água utilizada revelou níveis de risco baixo, segundo a classificação proposta por Nakayama (1986), para os principais íons potenciais causadores de entupimento. Em cada linha de alimentação dos microtubos foi instalada uma válvula de lavagem e uma válvula anti-vácuo, objetivando evitar a entrada de partículas finas do solo para o interior dos emissores

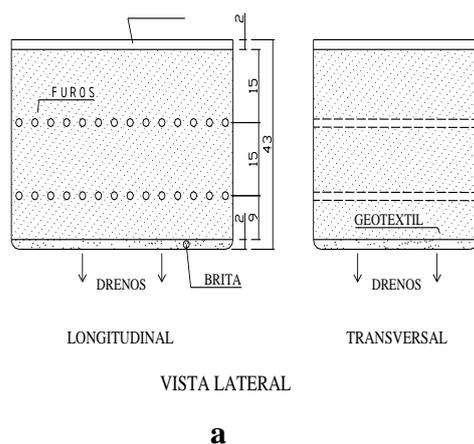


Figura 2 Vista lateral e longitudinal dos vasos (a) e esquema de instalação dos tubo gotejadores (b).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 representa o potencial diário de água no solo no decorrer do experimento. Em resposta aos tratamentos de

regime de umidade do solo, observa-se a alternância nos valores de potencial de água no solo para o tratamento CNS, o qual variou de 0 a -80 kPa, enquanto que no tratamento CNU essa variação foi de 0 a -20 kPa. A partir de valores de potencial de -60 kPa, as plantas apresentaram forte sintoma visual de déficit hídrico. Depois de efetuada a irrigação, o desaparecimento do sintoma visual de déficit ocorreu depois de aproximadamente 24 horas.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores médios da vazão relativa, Q_r , e do coeficiente de variação da amostra para os diversos tratamentos e ao longo do período do experimento ($n = 10$, exceto para 270 dias, onde $n = 9$).

O efeito do enterrio na vazão dos diversos modelos pode ser avaliado com base no percentual da vazão nominal, Q_r , apresentada na primeira leitura, quando não são esperados efeitos dos fatores cultura e umidade do solo. Para a maior parte dos modelos, o efeito do enterrio foi reduzido, com variações de $\pm 3\%$ da vazão nominal, para todos os modelos, sendo exceção o DI e o HD, os quais apresentaram variação de $\pm 9\%$, mantendo tal comportamento até 90 dias depois início do experimento, quando os tratamentos começaram a mostrar efeitos mais evidentes. Os valores negativos representam, percentualmente, uma vazão medida abaixo da nominal, enquanto os valores positivos, o oposto.

Também não foi observado, nesse momento, diferença significativa e tendência bem definida de comportamento, entre as profundidades de instalação dos gotejadores.

Observa-se que, para a maior parte dos modelos, o efeito dos tratamentos somente tornou-se mais evidente a partir de 120 dias do início do experimento, com exceção apenas dos modelos HD, na posição

P15, e TR, na posição P30, nos quais tal evidência se deu aos 90 dias, ambos para o tratamento Úmido (Figura 4). Para o presente caso, o aparecimento dos sintomas se deu em um período bem menor que aquele encontrado por Dalri et al. (2002), que, trabalhando com fita gotejadora enterrada, observou declínio dos valores de vazão e de coeficiente de uniformidade estatística a partir de 240 dias do plantio da cana-de-açúcar nos emissores que não receberam aplicação do herbicida trifluralina. Essa diferença de tempo pode estar relacionada à maior densidade de raízes na condição do experimento, uma vez que as mesmas encontravam-se confinadas ao volume do vaso utilizado.

A hipótese levantada para estabelecer o efeito da intrusão de raízes na vazão dos emissores se baseou na diferença entre o valor de Q_r na condição com cultivo, sob os fatores de regime de umidade do solo e profundidade de instalação dos gotejadores, daquele na condição sem cultivo, isto é, tratamento SC. Essa hipótese foi comprovada ao se incluir na análise estatística o tratamento SC e efetuando a análise de variância isolando o efeito do fator profundidade de instalação dos gotejadores e comparando as condições de enraizamento; essa análise resultou significativa para o fator condição de enraizamento nas duas profundidades de instalação dos gotejadores, sendo a média de Q_r do tratamento SC superior, pelo teste de Tuckey a 5% de probabilidade, à dos tratamentos Úmido e Seco, nas duas profundidades estudadas (Tabela 4). A interação modelo e condição de enraizamento se revelou significativa apenas na profundidade P15.

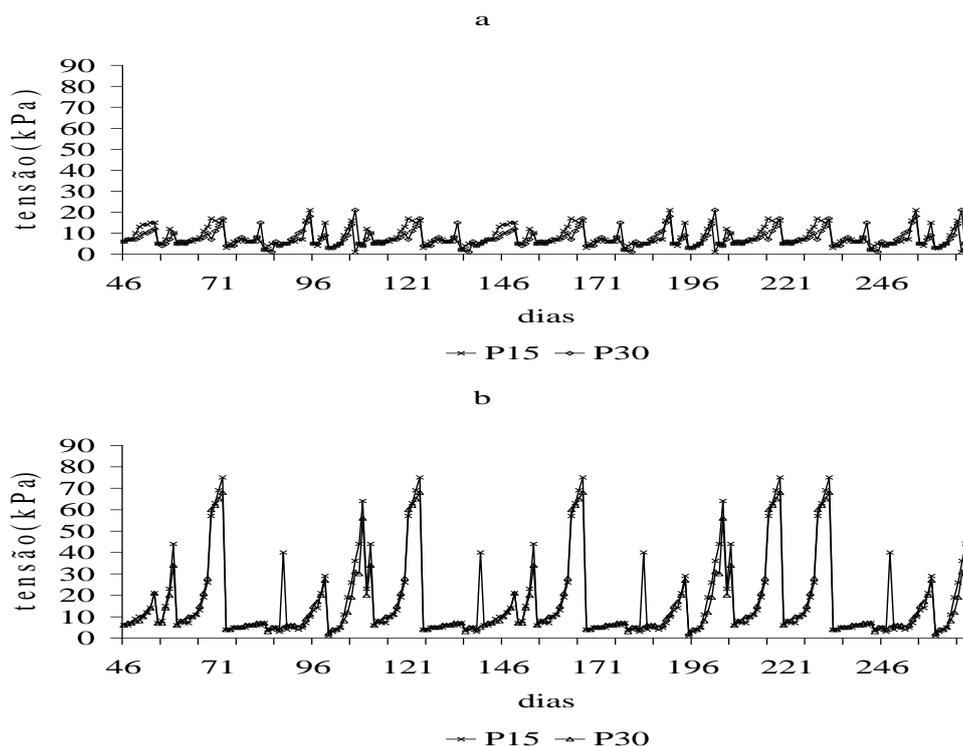


Figura 3 Potencial de água no solo nos tratamentos Cana-Úmido (a) e Cana-Seco (b), para as profundidades P15 e P30.

Considerando todo o período do experimento, o nível de redução de vazão dos gotejadores mostrou-se diferenciado em função do regime de umidade do solo: para todos os modelos e nas duas profundidades de instalação do gotejador; o tratamento úmido resultou em maior redução de vazão, em relação ao seco, sendo exceção apenas o modelo DL, na profundidade P30. As maiores diferenças foram, mais uma vez, observadas nos modelos AQ, CD e HD, sendo essas de 30 (P30), 32 (P30) e 27 pontos percentuais (P15); nos demais modelos, as maiores diferenças variaram de 7 a 9 pontos percentuais. Para o modelo DL, como já dito, exceção à tendência citada acima, a diferença em favor do tratamento seco foi de 7 pontos percentuais. Porém essas diferenças se reduziram no final do experimento; considerando todos os modelos e a Qr aos 270 dias, a análise de variância resultou não-significativa para todos os tratamentos de umidade do solo, além de que as médias de Qr para os tratamentos Úmido e Seco e SC foram idênticas, não diferindo, estatisticamente, nas profundidades P15 (76,4, 75,2 e 87,7%, respectivamente) e P30 (75,8; 75,2

e 86,9%, respectivamente), conforme apresentado na Tabela 4. Além disso, não foi observada interação significativa dos fatores modelo e profundidade de instalação do gotejador, para todas as condições de enraizamento avaliadas.

O efeito da profundidade de instalação não foi homogêneo para todos os gotejadores. Nos modelos AQ, CD e TR, o tratamento P30 apresentou os maiores níveis de redução de vazão, em relação ao tratamento P15, tendo ocorrido tanto no tratamento Úmido como no Seco, para os modelos AQ e TR; no modelo HG, esse comportamento se repetiu, embora com menor intensidade. Para o modelo CD, no tratamento Seco não foi observado efeito da profundidade de instalação, enquanto que o modelo HD mostrou comportamento oposto nos regimes úmido e seco – seguindo a tendência acima somente no regime seco. O tratamento P15 apenas resultou em maior redução de vazão nos modelos HD e DL, no tratamento Úmido. A ocorrência do efeito da profundidade de instalação foi maior no solo com regime úmido, onde ocorreram as maiores diferenças de vazão relativa, Qr; considerando a última leitura, a diferença de Qr variou de 3 a 5

pontos percentuais no tratamento Seco, enquanto para o tratamento Úmido essa diferença variou de 13 (AQ e TR) a 18 pontos percentuais (CD). Do mesmo modo, para os gotejadores HD e DL, a diferença foi de 13 pontos percentuais, tendo ocorrido somente no tratamento Úmido. Porém, quando considerando todos os modelos, a análise de variância resultou não-significativa para o efeito da profundidade, para todas as condições de umidade do solo avaliadas. Assim, não houve diferença significativa, no nível de 5% de probabilidade, entre as médias dos tratamentos P15 e P30, para os tratamentos Úmido, Seco e Sem Cultivo.

O fator modelo de gotejador apresentou, aos 270 dias, variância significativa para todos os níveis de condição de enraizamento e profundidades avaliadas, mostrando que há diferenças entre os modelos de gotejadores avaliados quanto à suscetibilidade à intrusão de raízes. Isolando-se, seqüencialmente, o efeito do fator profundidade de instalação, déficit de umidade do solo e ambos conjuntamente (Tabela 4), a aplicação do teste de comparação de médias para cada um dos fatores do experimento revelou um grupo de gotejadores que se alternam entre si como de menor suscetibilidade à intrusão radicular, sendo esse formado pelos modelos HG, TR, DL e DI, e um segundo grupo, que se alternam como de maior suscetibilidade à intrusão, formado pelos modelos AQ, CD e HD.

Na condição sem cultivo, tratamento SC, o modelo AQ apresenta desempenho idêntico aos modelos do primeiro grupo. A Figura 6 demonstra que essa classificação se aplica quando se consideram todas as épocas estudadas. Nos modelos AQ, CD e HD, os menores valores de Qr determinados na última leitura foram de 60%, 56% e 55%, respectivamente, no tratamento Úmido e profundidade P30. O modelo HG mostrou o menor efeito da intrusão, com valor mínimo de Qr de 96%, enquanto os modelos DI, DL e TR tiveram comportamento intermediário, com valores mínimos de 85%, 82% e 82% da vazão nominal, respectivamente.

A diferença de resposta entre os diversos modelos avaliados pode ser atribuída às diferenças na arquitetura dos emissores (CAMP et al., 2000). Segundos esses autores, menores diâmetros de orifício tendem a ter menor possibilidade de intrusão de raízes, embora sejam

mais susceptíveis ao entupimento por matéria particulada.

O coeficiente de variação, CV, dos dados de vazão no início do experimento foi, para maior a parte dos modelos, abaixo de 5%, revelando uma boa uniformidade dos gotejadores na condição de enterrio, embora considerando não se tratar de um teste padrão. Acompanhando o comportamento dos dados de vazão, os maiores incrementos nos valores CV ocorreram a partir dos 90-120 dias de iniciado o experimento, tendo, também, predominantemente ocorrido no tratamento Úmido, onde a maioria dos modelos apresentou CV maior que 30%. A profundidade de instalação do gotejador, por sua vez, não evidenciou diferenças tão marcantes quanto a umidade do solo. Os modelos DI e HG apresentaram a maior uniformidade de vazão, com valores de CV mantendo-se próximos ou abaixo de 10% em todo o período do experimento, nas duas profundidades de instalação e nos dois regimes de umidade do solo estudados. Os modelos CD e HD, no tratamento Úmido, apresentaram os maiores níveis de variação de vazão, dentro de cada época de avaliação.

As diferenças significativas da Qr entre o tratamento SC e os tratamentos com presença de raiz (Úmido e Seco), evidenciam que o processo de intrusão de raízes foi um dos fatores que determinaram a redução da vazão dos gotejadores. Os elevados valores de CV das vazões indicam que o processo de intrusão assume caráter aleatório, ou seja, está relacionado à densidade do sistema radicular próximo ao orifício de saída de água do gotejador, elevando a probabilidade de entrada de raízes, semelhantemente ao processo de interceptação radicular relacionado à nutrição das plantas. Embora não tenha havido, para a última leitura de vazão do experimento, diferença significativa entre as médias de Qr dos tratamentos Úmido e Seco, a observação de todas as épocas de medição de vazão nos modelos que apresentaram maior redução de Qr evidenciam que o processo de intrusão foi mais intenso e precoce no tratamento Úmido (Figura 4), porquanto associado a um maior desenvolvimento da parte aérea da planta observou-se maior volume de raízes e, conseqüentemente, maior probabilidade de estas “interceptarem” o orifício do gotejador.

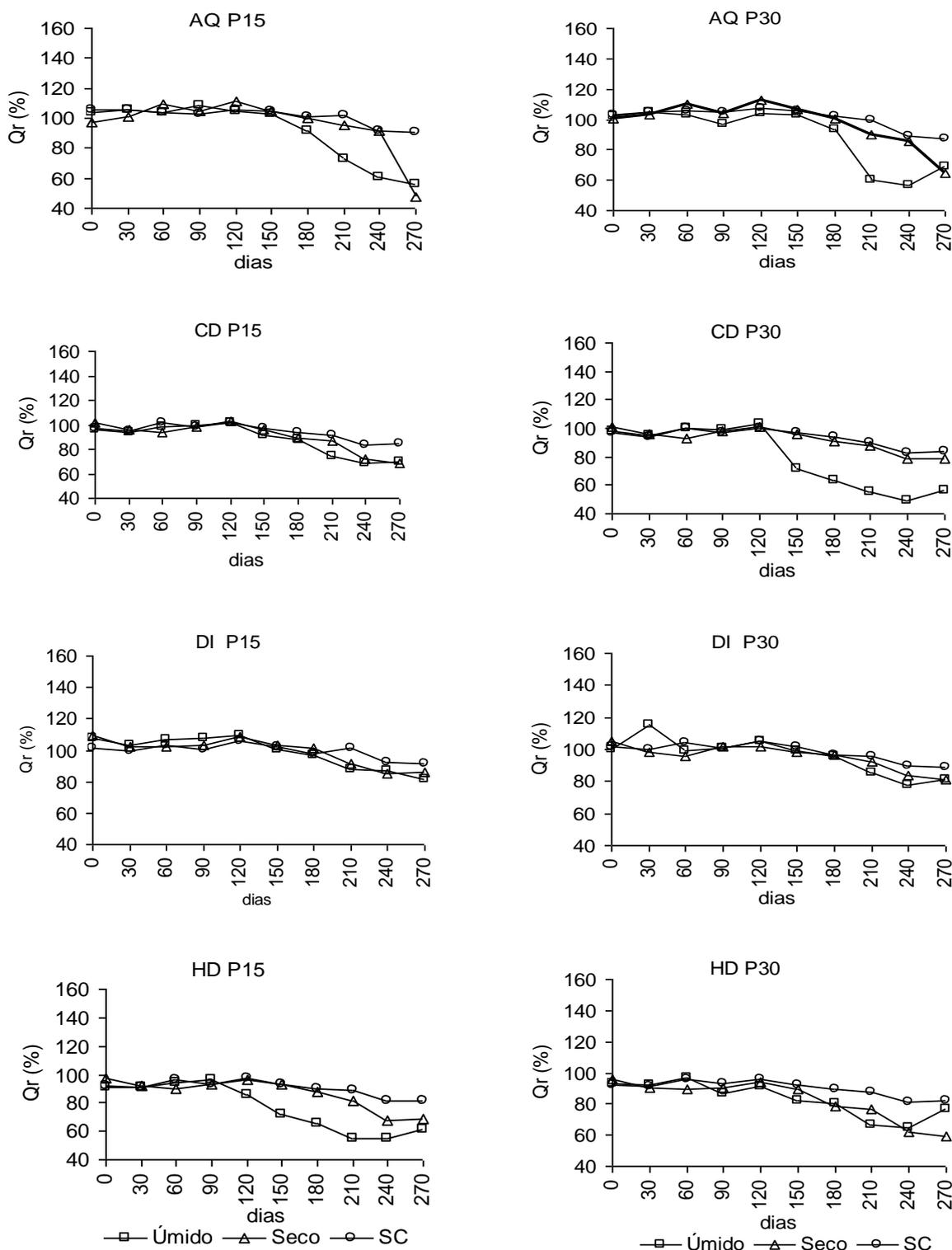


Figura 4a Vazão relativa, Qr, ao longo do período do experimento, para gotejadores não compensantes de vazão no experimento com cana-de-açúcar.

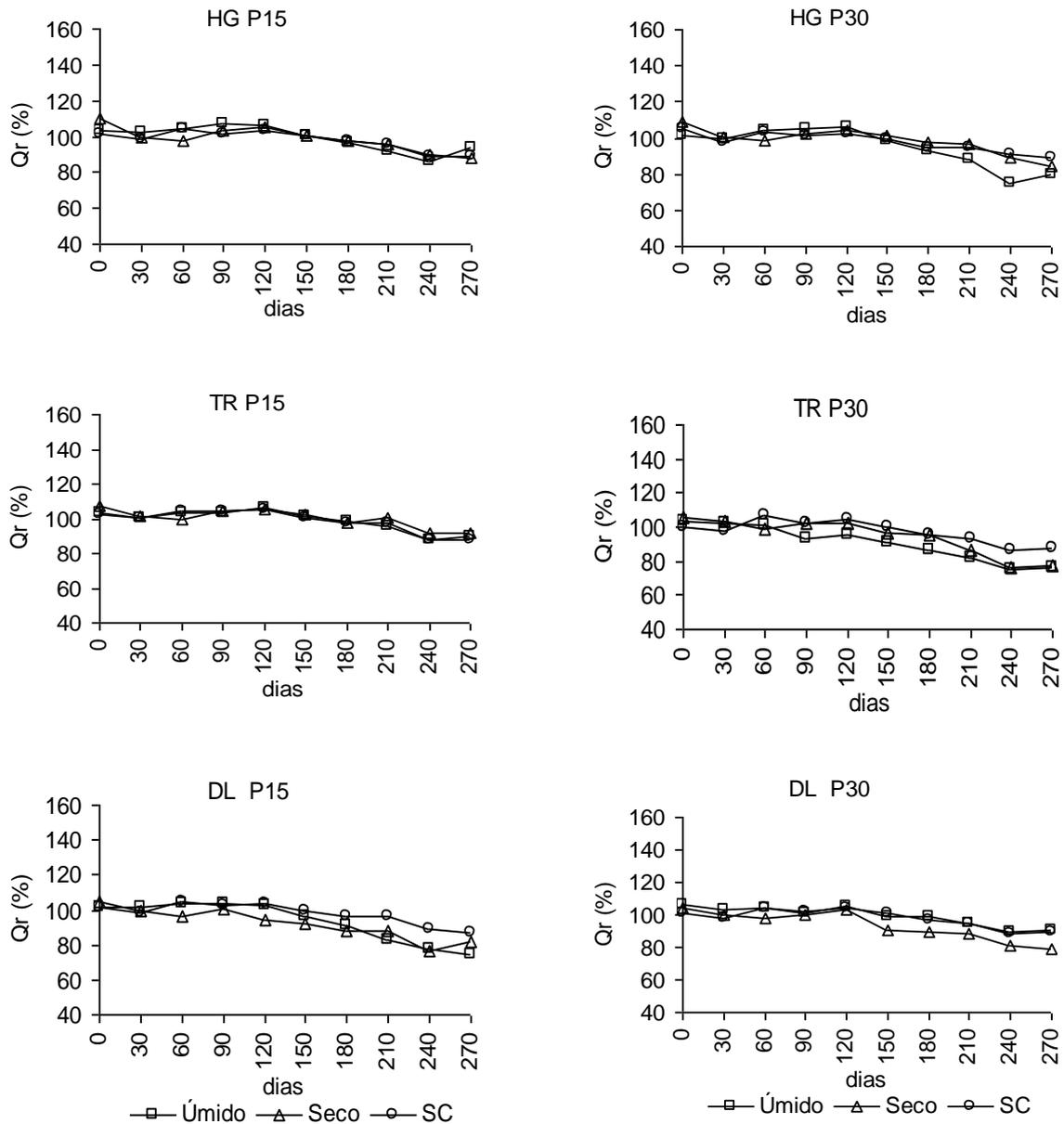


Figura 4b Vazão relativa, Q_r , ao longo do período do experimento, para gotejadores não compensantes de vazão no experimento com cana-de-açúcar (continuação).

Tabela 2. Variação da vazão relativa (Qr), em L.h⁻¹, e do coeficiente de variação de vazão (CV), em %, dos gotejadores na cultura da cana-de-açúcar, na profundidade P15 e no regime de solo úmido (n = 10).

Modelos Dias	AQ		CD		DI		HD		HG		TR		DL	
	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV
0	103	6,3	96	4,5	107	6,7	91	3,3	103	6,0	104	2,1	101	4,5
30	100	5,2	94	7,9	103	9,0	91	5,1	102	6,3	101	5,2	101	6,3
60	104	4,6	98	4,8	106	6,6	94	4,1	104	6,5	103	4,8	104	4,7
90	109	4,4	100	6,1	107	7,3	96	6,7	108	4,7	104	3,1	104	3,3
120	105	3,7	101	6,6	110	7,4	86	36,0	106	4,9	107	4,0	103	5,6
150	103	11,9	92	5,8	101	4,3	72	50,2	100	4,3	101	5,0	97	11,9
180	91	21,0	89	7,8	97	5,4	66	53,4	96	3,7	99	3,6	91	27,1
210	73	35,2	74	32,2	88	9,4	55	74,3	92	4,8	95	3,8	82	41,3
240	61	37,3	68	29,3	87	25,1	55	57,9	86	7,4	87	4,7	77	43,2
270	56	44,3	70	28,6	81	10,5	61	47,3	94	13,4	89	6,5	74	44,6

Tabela 3. Variação da vazão relativa (Qr), em L.h⁻¹, e do coeficiente de variação de vazão (CV), em %, dos gotejadores na cultura da cana-de-açúcar, na profundidade P30 e no regime de solo úmido (n = 10).

Modelos Dias	AQ		CD		DI		HD		HG		TR		DL	
	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV
0	103	4,9	98	6,3	100	7,4	93	5,5	101	2,9	103	2,6	107	4,4
30	105	2,8	94	7,2	115	47,2	92	6,1	99	4,8	102	5,3	103	6,8
60	103	5,4	100	3,8	99	3,9	97	5,0	104	5,3	101	18,9	104	3,5
90	97	31,5	99	5,5	101	2,4	86	35,6	105	2,5	93	35,5	101	5,4
120	104	6,0	103	5,6	105	7,7	91	25,7	106	4,0	95	35,5	105	4,0
150	103	4,1	71	55,5	99	3,7	83	29,5	99	5,4	91	35,5	99	2,5
180	94	6,7	63	62,5	96	9,2	80	32,8	93	7,8	86	35,2	99	1,6
210	60	55,2	56	72,7	85	8,5	67	54,3	88	9,6	82	35,8	95	3,2
240	56	55,1	49	77,8	78	14,4	65	52,9	75	26,1	75	37,8	90	2,5
270	69	40,1	56	69,4	81	13,0	77	18,5	80	15,6	76	39,7	90	2,7

Tabela 4. Variação da vazão relativa (Qr), em L.h⁻¹, e do coeficiente de variação de vazão (CV), em %, dos gotejadores na cultura da cana-de-açúcar, na profundidade P15 e regime de solo seco (n = 10).

Modelos Dias	AQ		CD		DI		HD		HG		TR		DL	
	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV
0	98	3,0	101	2,6	109	4,4	98	2,9	110	9,7	107	3,8	104	2,6
30	101	1,4	96	4,2	102	3,1	92	3,5	100	2,8	101	3,2	99	4,9
60	109	2,5	93	4,0	103	2,9	90	4,1	98	4,6	100	3,4	96	5,2
90	104	2,1	98	4,8	103	3,5	93	4,3	103	2,9	104	2,0	101	3,8
120	112	2,7	103	6,0	108	6,1	96	5,7	106	5,3	105	3,7	94	29,6
150	105	1,7	96	4,0	103	3,6	93	2,8	101	1,7	102	1,8	92	23,3
180	100	4,2	90	5,1	101	5,2	88	3,8	97	1,8	97	1,6	88	27,9
210	95	9,4	87	12,4	92	11,5	82	17,0	96	3,1	100	5,6	88	35,3
240	92	8,8	72	26,9	85	17,6	68	38,7	90	6,0	91	5,6	76	38,1
270	48	61,9	69	35,8	86	12,3	69	39,2	88	2,8	92	6,5	82	23,2

Tabela 5. Variação da vazão relativa (Qr), em L.h⁻¹, e do coeficiente de variação de vazão (CV), em %, dos gotejadores na cultura da cana-de-açúcar, na profundidade P30 e regime de solo seco (n = 10).

Modelos Dias	AQ		CD		DI		HD		HG		TR		DL	
	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV	Qr	CV
0	100	3,0	101	2,5	105	6,0	96	5,8	109	6,6	105	1,8	104	3,7
30	103	1,6	96	2,9	98	5,6	91	3,9	100	4,4	104	12,7	100	4,0
60	110	2,1	93	6,4	96	5,8	90	6,1	98	2,9	99	4,7	98	3,4
90	104	1,3	98	4,3	101	3,3	90	4,1	102	3,7	103	3,3	100	4,2
120	113	2,0	101	4,0	102	11,3	94	5,3	104	4,2	103	10,1	104	4,5
150	106	2,8	96	4,5	99	8,5	90	1,9	101	3,4	97	6,5	91	30,8
180	100	1,3	91	5,2	97	7,7	78	35,3	98	9,9	95	10,4	89	22,2
210	90	17,9	88	10,6	92	7,0	77	35,5	97	5,7	87	30,0	88	29,4
240	86	20,1	79	12,9	83	11,3	62	53,0	89	12,0	77	37,4	81	32,4
270	65	46,1	79	10,5	81	18,7	59	57,2	85	10,6	78	38,9	79	37,6

Tabela 6. Resultados da análise de variância e teste de comparação de médias para os dados de vazão relativa, Qr, dos gotejadores não compensantes, aos 270 dias do início do experimento, na cultura da cana-de-açúcar.

Fonte de Variação	P15	P30	ÚMIDO	SECO	SC	ÚMIDO		SECO		SC	
						P15	P30	P15	P30	P15	P30
1. Isolando											
PROF											
Modelo (MOD)	9,7**	2,4*									
C.Enraiz. (CE)	8,8**	10,5**									
MOD x CE	2,4**	1,17 ^{ns}									
CV(%)	21,1	25,3									
Úmido	75,2b	75,8b									
Seco	76,4b	75,2b									
SC	87,7a	86,9a									
DMS / (N = 63)	8,2	7,2									
2. Isolando CE.											
Modelo (MOD)			3,8**	4,7**	9,3**						
Profundidade (PROF)			0,02 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}						
MOD x PROF			1,8 ^{ns}	1,0 ^{ns}	1,0 ^{ns}						
CV(%)			29,4	29,9	5,0						
P15			75,2a	76,4a	87,7a						
P30			75,8a	75,2a	86,9a						
DMS / (N = 63)			8,3	7,5	1,7						
3. Isolando PROF e CE											
Modelo						3,9**	2,0 ^{ns}	5,6**	1,3 ^{ns}	4,9**	5,9**
CV(%)						28,5	30,2	25,8	32,7	5,8	4,0
AQ	67,2d	73,8a	62,2b	56,2b	89,0a	55,9c	69,3ab	47,6b	64,8a	90,7ab	87,3ab
CD	76,4bcd	72,9a	63,0ab	73,8ab	84,2bc	70,0abc	56,0b	68,7ab	78,9a	84,4bc	83,0bc
DI	86,7ab	83,6a	81,3ab	83,9a	90,2a	81,2abc	81,4ab	86,5a	81,3a	92,3a	88,0ab
HD	70,7cd	72,7a	69,0ab	64,3ab	81,7c	61,4bc	76,7ab	69,1ab	59,4a	81,4c	82,0c
HG	90,6a	84,9a	87,0a	86,5a	89,7a	93,8 ^a	80,2ab	88,2a	84,8a	89,8ab	89,7a
TR	90,0a	80,9a	83,0ab	85,0a	88,2ab	89,7ab	76,3ab	92,1a	78,0a	88,3abc	88,1ab
DL	81,2abc	86,2a	82,3ab	80,6a	88,1ab	74,3abc	90,3a	82,2a	79,0a	87,0abc	89,2a
DMS	13,7	16,3	22,3	22,8	4,4	30,9	35,0	28,4	35,4	7,3	5,0
N	27	27	18	18	18	9	9	9	9	9	9

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo Teste de Tuckey ($p < 0,05$). * - Teste F significativo no nível de 1% de probabilidade. ** - Teste F significativo no nível de 5% de probabilidade. DMS – Diferença Mínima Significativa no nível de 5% de probabilidade. N - número de repetições.

Uma vez que, após o encerramento da coleta seqüencial de dados, foi dada continuidade ao experimento, não foi possível obter dados de massa de raiz para os tratamentos Úmido e Seco. No entanto, a pesagem de colmos para esses tratamentos revelou diferença significativa de produção com um peso médio por vaso de 6,15 kg ($n = 10$; $\sigma = 1,92$) para o tratamento Úmido e 2,44 kg ($n = 10$; $\sigma = 0,63$) para o Seco. Como acima mencionado, a maior produção de colmo deve ter induzido à maior produção de massa de raiz no tratamento Úmido e esta certamente deve ter contribuído para a maior ocorrência de redução de vazão, em relação ao tratamento Seco. Tomando-se por base a área do vaso utilizado no experimento ($0,26\text{m}^2$), a produtividade da cultura foi de $233,6\text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de colmos para o tratamento Úmido e $92,7\text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para o Seco.

Dessa forma, os resultados obtidos no experimento, contrariam a hipótese normalmente aceita de que a alta freqüência da irrigação, não permitindo elevadas alternâncias no regime de umidade do solo, seria uma estratégia de prevenção da intrusão de raízes na irrigação por gotejamento subsuperficial. Essa suposição foi apontada por Casaño, (1995), para o qual dependendo da textura do solo e da freqüência de irrigação, a intrusão de raízes pode não ocorrer. Igualmente, a hipótese foi também citada por Camp et al. (2000), embora esses autores tenham ressaltado que isso pode não ser verdadeiro para todas as culturas.

O pressuposto de que o déficit de umidade eleva o potencial de intrusão de raízes nos emissores baseia-se na assunção que a característica de hidrotropismo positivo atua nas raízes, o que resultaria em um deslocamento das radículas para o orifício de saída de água do gotejador, onde, supostamente, ter-se-ia o solo com maior grau de umidade. A esse respeito, Carmi et al. (1991), trabalhando com a cultura do algodão, concluíram que os mais altos níveis de irrigação resultaram no aumento do crescimento das raízes mas não levaram a um aprofundamento do sistema radicular a despeito do aprofundamento da zona úmida nos tratamentos que receberam mais água. Do mesmo modo e também para a cultura do algodão, Plaut et al. (1996), cultivando plantas

em colunas de solo com suprimento de água por meio de emissores instalados à profundidade de 0,45 m, não observaram evidência de hidrotropismo - definido por eles como o crescimento da raiz através de uma camada de solo seco até uma camada de solo úmido. Segundo esses autores, o crescimento foi predominantemente para baixo, mas, provavelmente, potencializado pelo geotropismo positivo.

Outro pressuposto levantado é o de que haveria maior desenvolvimento das raízes, isolando-se outros fatores, justamente na região do solo com melhor condição de umidade, ou seja, no volume de solo próximo ao orifício de saída de água do gotejador, aumentando o potencial intrusivo. Trabalhando com imposição de déficit hídrico na cultura do feijão, Nunez-Barrios, citado por Graham & Ranalli (1997), notou rápida expansão das raízes no início do período de déficit hídrico, seguindo-se a morte dessas raízes e um crescimento compensatório em camadas mais profundas. Na verdade, no momento em que as condições de umidade tornam-se inadequadas na superfície, o crescimento passa a ocorrer nos locais mais favoráveis, isto é, camadas mais profundas, com maior umidade. Contrariamente a essa linha de raciocínio, Suarez-Rey et al. (2000) através de inspeção visual dos emissores, correlacionaram a ocorrência de stress hídrico em parcelas com maior conteúdo de areia a intrusão de raízes em emissores instalados em parcelas de grama Bermuda [*Cynodom dactylon* (L.) Pers. x *C. transvaalensis*].

Deve-se levar em conta, na análise do comportamento do sistema radicular, o fato de o déficit hídrico imposto ao tratamento Seco ter sido extremamente severo, o que, hipoteticamente, resultaria em menor volume de raiz em relação ao tratamento Úmido, reduzindo a probabilidade de intrusão das raízes, quando comparado à ocorrência de déficits menos severos, que normalmente ocorrem em cultivos irrigados por sistemas localizados. De acordo com Ehlers (1980), citado por Klepper (1991), o potencial de água no qual cessa-se a elongação da raiz varia de acordo com a textura e densidade global do

solo, mas é esperado que seja mínima em solos com potencial de água em torno de $-0,8$ MPa. No presente trabalho, essa condição não foi encontrada no solo dos vasos do tratamento Seco, já que a irrigação era efetuada quando o potencial de água no solo atingia -80 kPa. Entretanto, as plantas desse tratamento apresentavam sintoma visual evidente de déficit hídrico.

No entupimento de emissores por causa química, física ou biológica, o impacto da ocorrência do entupimento afeta a vazão do emissor individualmente, sendo que o efeito final dessas causas de entupimento na malha hidráulica será função do número e do nível de entupimento dos emissores afetados. Já no processo de intrusão radicular, além do efeito individual na vazão do emissor, as raízes podem se desenvolver internamente na linha lateral após atravessar todo o labirinto do gotejador, conforme ocorrido no experimento e apresentado na Figura 5. Nesse caso, haverá comprometimento das condições de fluxo em todo segmento à jusante do ponto de intrusão, resultando em impacto de maior magnitude na hidráulica da parcela. Esse impacto será tanto mais significativo quanto mais próximo do início da linha lateral ocorra o enovelamento no interior do tubo. Dessa forma, no desenvolvimento de modelos de gotejadores, ao estudo de estratégias de prevenção à intrusão deve ser adicionado a busca de arranjos de arquitetura que impeçam ou dificultem a penetração da raiz intrusa no interior do tubo gotejador.



Figura 5 Enovelamento de raízes no interior do tubo gotejadores.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram evidenciar as seguintes conclusões:

Há diferenças marcantes entre modelos de emissores quanto ao seu desempenho, sob condição de enterrio, na suscetibilidade à intrusão de raízes. Adequações na arquitetura ou processo de fabricação dos gotejadores avaliados podem minorar tanto a intrusão de raízes, como, uma vez intrusa, os efeitos dela;

O manejo da irrigação visando evitar elevadas alternâncias no nível de umidade do solo não reduz, por si só, o potencial de intrusão de raízes em gotejadores;

A profundidade de instalação do gotejador, na faixa avaliada no experimento, não se constitui em fator determinante no potencial de intrusão de raízes, em gotejamento subsuperficial

7 AGRADECIMENTOS

Os dois primeiros autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo suporte financeiro concedido através do Projeto de Pesquisa N° 2000/10267-4, indispensável à realização desse trabalho e às Empresas de irrigação Carborundum, Éden, Irrigaplan, Isratec e Netafim, que gentilmente cederam material para os testes.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTH, H.K. Sustainable and effective irrigation through a new subsoil irrigation system (SIS). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.40, p.283-290, 1999.
- CAMP, C.R. et al. Subsurface drip irrigation-past, present and future. In. DECENDIAL NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM, 4. Phoenix.2000. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, 2000. p. 363-372.
- CARMI, A. et al. Establishment of shallow and restricted root systems in cotton and its impact on plant response to irrigation. **Irrigation Science**, Berlin, v.13, p.87-91, 1991.
- CASAÑO, C. **Informacion general riego por goteo subterráneo em olivar – vip underground**. Valencia: Irrimon, 1995. 13p.
- DALRI, A.B. et al. Uso da trifluralina para o controle da intrusão de radículas de cana-de-açúcar em gotejadores enterrados. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002, Salvador. ICD-ROOM.
- GRAHAM, P.H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Fields Crops Research. Amsterdam, v.53, p.131-146, 1997.
- KLEPPER, B. Crop root system response to irrigation. **Irrigation Science**, Berlin, v.12., n.3. p.105–108, 1991
- NAKAYAMA, F. S. Operational principles/water treatment. In: NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam:Elsevier, 1986. p. 164 -187.
- NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, Berlin, v.12, p.187-192, 1991.
- PLAUT, Z.; CARMI, A.; GRAVA, A. Cotton root and shoot responses to subsurface drip irrigation and partial wetting of the upper soil profile. **Irrigation Science**, Berlin, v.16, p.107-113. 1996.
- SHANI, U. et al. Soil-limiting flow from subsurface emitters. I: pressure measurements. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.122, n.5, p.291-295, 1996.
- STEELE, D.D.; GREENLAND, R.G.; GREGOR, B.L. Subsurface drip irrigation systems for specialty crop production in North Dakota. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.12, n.6, p.671-679, 1996.
- SUAREZ-REY, E. et al. Comparasion of subsurface drip irrigation and sprinkler irrigation of Bermuda grass turf in Arizona. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.43, n.3, p.631-640, 2000.
- ZOLDOSKE, D.F. Root intrusion prevention. **Irrigation Journal**, Berlin, v. 49, n.4, p.14-15, 1999.