

INTRUSÃO DE RAIZES DE EUCALIPTO EM GOTEJADORES ENTERRADOS

¹Ralini Ferreira de Melo, ²Marconi Batista Teixeira, ³Yanê Borges Garcia Gruber, ⁴Rubens Duarte Coelho

¹Prof. Dra Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns, PE, ralini@uag.ufrpe.br

²Eng. Agrônomo, Doutor em Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, marconi@esalq.usp.br

³Eng.^a Florestal; Mestre em agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, gruber@esalq.usp.br

⁴Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, rdcoelho@esalq.usp.br

1 RESUMO

Com o propósito de avaliar o potencial de intrusão radicular do eucalipto nas linhas de irrigação em diversos modelos de gotejadores, quando utilizados em irrigação subsuperficial, foi realizado um experimento utilizando caixas d'água de amianto de 100 L em condição de ambiente protegido. Os tratamentos consistiram de 14 modelos de gotejadores de diferentes marcas comerciais, dos quais sete do tipo não compensante e sete do tipo autocompensante de pressão. Os modelos foram instalados em duas profundidades, de 0,15 m e 0,30 m (P15 e P30, respectivamente), e conduzidos em solo mantido à capacidade de campo. Foram realizadas cinco leituras de vazão em intervalos que oscilaram de 32 a 131 dias, totalizando 235 dias. Os resultados mostraram diferenças marcantes no comportamento dos gotejadores do tipo não compensante de pressão daqueles do tipo autocompensante e, dentro de cada tipo, diferenças significativas quanto à suscetibilidade à intrusão das raízes do eucalipto. Quanto ao efeito da intrusão e enterrio, os modelos autocompensantes apresentaram maior magnitude de variação da vazão em relação aos gotejadores não compensantes, no experimento conduzido. Nos modelos mais susceptíveis, observou-se maior nível de intrusão na condição de enraizamento, porém não foi observada diferença significativa no nível de intrusão das raízes em relação à profundidade de instalação dos gotejadores. As raízes do eucalipto se mostraram agressivas na penetração nos gotejadores, chegando a ocorrer o estrangulamento nos modelos Acqua-Traxx, Carbodrip, Hydrogol e Hydro Drip II. A penetração das raízes, também ocorreu no interior das linhas laterais, ampliando o efeito da intrusão na malha hidráulica da parcela de irrigação. Recomendam-se adequações em parâmetros da arquitetura ou no processo de montagem destes tubos gotejadores com a finalidade de minimizar as intrusões radiculares quando usados para a cultura do eucalipto.

UNITERMOS: gotejamento, variação de vazão, *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*

**MELO, R. F. DE, TEIXEIRA, M. B., GRUBER, Y. B. G., COELHO, R. D., ROOT
INTRUSION OF THE EUCALYPTUS IN SUBSURFACE DRIP IRRIGATION**

2 ABSTRACT

This experiment was performed aiming to evaluate the potential of eucalyptus root intrusion in irrigation rows using various emitter models when applied in subsurface irrigation; asbestos water tanks of 100L were utilized in protective environment (a greenhouse). The treatments consisted of 14 emitter models from different brands, seven non-pressure and seven pressure compensating types. The models were installed at two depths 0.15 m and 0.30 m (P15 and P30 respectively) and conducted in soil kept at field capacity. Five flow readings at intervals that ranged from 32 to 131 days were performed, totaling 235 days. The results showed striking differences in pressure and non-pressure compensating emitters behavior and within each type significant differences in susceptibility towards the intrusion of eucalyptus roots. Regarding the intrusion and burial effect, self-compensating models had higher magnitude of flow variations in relation to non-compensating emitter. In the most susceptible models there was a higher level of intrusion on rooting condition, but no significant difference was observed in the roots intrusion levels in relation to the emitter installation depth. Eucalyptus roots proved aggressive in penetrating the emitters, coming to strangling models Aqua-Traxx, Carbodrip, Hydrogol, and Hydro Drip II. Roots attack also occurred within the lateral lines extending the effect of intrusion to the network pressure plot irrigation. This study recommends adjustments on the architecture parameters or on the drip irrigation system assembling process in order to minimize root intrusion when used for eucalyptus cultivation.

KEYWORDS: drip irrigation, flow variation, *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*

3 INTRODUÇÃO

A irrigação localizada subsuperficial, que se constitui na aplicação localizada de água diretamente na zona radicular da cultura, apresenta elevado potencial de uso em função da economia e eficiência no uso da água, além de ter a vantagem de minimizar os riscos à saúde humana quando do uso de águas residuais.

Para o sistema de gotejamento enterrado, a intrusão radicular constitui-se um dos principais aspectos de manejo a ser considerado visando assegurar a vida útil do sistema (Camp et al., 2000). Na cultura do eucalipto o problema é ampliado devido as características do sistema radicular – denso e ramificado.

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) e fitotoxidez, é mínima a quantidade de estudos envolvendo o manejo da aplicação desses produtos. Questões como dosagens em diferentes tipos de solo, variabilidade do volume de solo tratado dentro da parcela de irrigação e suas

implicações no desenvolvimento do sistema radicular da cultura, custos do tratamento, etc, carecem de estudos científicos.

A imposição de barreira física ao intrusão se constitui em uma estratégia de solução do problema que está isenta dos questionamentos acima referidos. Se não no sentido da completa eliminação da necessidade de tratamento químico, pode contribuir para reduzir, significativamente, a frequência destes.

A comprovação da ocorrência de intrusão radicular em campo é dificultada justamente pelo fato das 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 entre o interior do tubo e o ambiente externo ao gotejador, e o estrangulamento dos gotejadores pelas raízes (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 ao intrusão de raízes, sendo importante o estabelecimento de um padrão de ensaio da suscetibilidade de emissores, até agora inexistente.

Com relação a modelos de gotejadores com incorporação de barreira química no processo de extrusão do polietileno, há somente um produto disponível no mercado, embora ainda não comercializado no país.

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 diferentes condições de enraizamento, quando utilizados em irrigação subsuperficial na cultura do *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*. Visando adequar uma metodologia de ensaios de curta duração para avaliar a suscetibilidade de diferentes emissores ao problema.

Em vista dos objetivos propostos, foi estabelecida a hipótese de que o efeito da entrada de raízes no orifício dos emissores deve estar relacionado à redução de vazão para o grupo de emissores não compensantes e ao aumento de vazão, no grupo dos autocompensantes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente ensaio foi realizado em Piracicaba - SP, no Departamento de Engenharia Rural, área de Irrigação e Drenagem da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, em condição de ambiente protegido (estufa com cobertura plástica) entre os meses de abril de 2005 a janeiro de 2006. A estufa utilizada apresentava dimensões de 17,4 m x 6,4 m, com altura de pé direito de 3,5 m. A ventilação no interior da estufa era efetuada por meio de manejo de cortinas laterais.

A espécie vegetal utilizada foi um clone de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, doados pela empresa Eucatex Celulose e Papel. Aos 120 dias as mudas foram transplantadas para caixas de cimento amianto (0,58 x 0,43 x 0,43 m) com capacidade para 100 L em volume. Foram transplantadas seis mudas para cada caixa. Foram selecionados sete modelos de gotejadores de fluxo normal e sete modelos auto compensantes, dando prioridade aos recomendados pelos fabricantes em sistemas enterrados e também aos mais comercializados no Brasil. Na Tabela 1, são apresentados os emissores selecionados e as principais características de cada um deles.

As leituras tensiométricas foram realizadas sempre no início da manhã. Como limite de tensão de água no solo foi determinado o valor de -30 kPa para o tensiômetro superficial à 7,5 cm de profundidade para dar início à irrigação. O sistema de irrigação foi composto por dois reservatórios d'água com capacidade de 1 m³ cada, acoplados em sistema de recipientes comunicantes .

Foram montadas dez caixas, sendo que cada uma recebeu os 14 modelos de emissores nas diferentes profundidades de instalação (15 e 30 cm), totalizando 28 emissores (Figura 1).

O manejo da irrigação foi realizado com o auxílio de tensiômetros instalados nas caixas.

A água era pressurizada por um conjunto eletrobomba com potência de 1cv (0,735 kW) e conduzida até cavaletes, por meio de tubulação em PVC subterrânea. Sequencialmente, após os cavaletes, existiam duas linhas de distribuição em tubos de polietileno, as quais alimentavam os microtubos conectados aos segmentos dos tubos gotejadores. Para a coleta dos dados ou para a determinação da vazão individual de cada gotejador, se estabeleceu uma rede hidráulica que conduzia a água a apenas um gotejador por vez, por meio de uma mangueira conectada após o sistema de filtragem, retornando a vazão excedente aos reservatório.

Tabela 1. Características operacionais dos gotejadores avaliados

Modelo	Cód.	Tipo	Vazão (L h⁻¹)	Pressã o (kPa)	Espessura de parede (mm)	Ø interno do tubo (mm)
Carbodrip	CD	Cilíndri	2,30	100	0,85	13,8
Carbodrip	CP	Cilíndri	2,50	100		
Drip In PC	DP	Cilíndri	4,00	100	1,00	14,0
Drip In	DI	Cilíndri	1,60	100		
Naan-Tif PC	NP	Cilíndri	1,60	100	1,00	15,6
VIP	VP	Botão	3,60	100		
Tiran	TR	Plano	2,00	100		
Ram	RM	Plano	2,30	100	0,62	14,6
Dripline	DL	Plano	2,00	100	0,50	15,4
HydroDrip II	HD	Plano	2,30	100		
Hydrodrip	HP	Cilíndri	2,20	100		
Hydrogol	HG	Cilíndri	2,00	100	0,80	14,4
Dripline PC	DLP	Cilíndri	3,40	100	1,15	13,7
Acqua-Traxx	AQ	Fita	1,44	70	0,15	15,6

Fonte: Catálogos dos fabricantes.

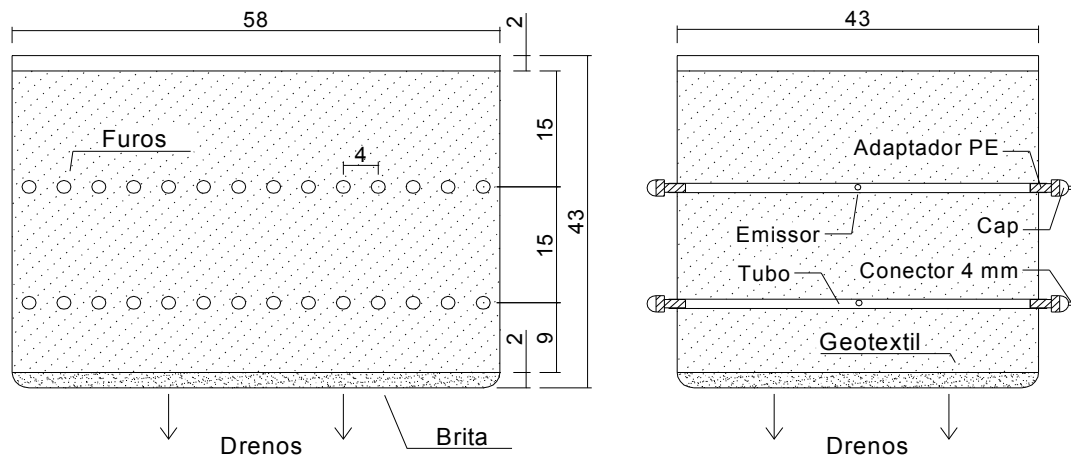


Figura 1. Disposição das caixas com as plantas de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla* com os gotejadores enterrados.

Ao final do experimento foram desmontadas todas as caixas e cortados todos os gotejadores com a finalidade de se verificar a intrusão das raízes nos gotejadores.

Para a determinação da vazão individual dos gotejadores foi usado medidor magnético indutivo, capaz de medir vazões na faixa de 0 a 10 L h⁻¹, com precisão de 0,3%. Como cada gotejador era abastecido isoladamente, foi possível determinar a vazão individual de cada emissor, desconectando o microtubo de abastecimento de cada gotejador da rede de PVC e conectando-o ao medidor de vazão (Figura 2).



Figura 2. Detalhes do medidor de vazão: (a) sensor magnético e (b) leitor digital.

As datas de início de cada leitura foram nos dias: 04 de abril de 2005, 11 de maio de 2005, 06 de agosto de 2005, 22 de setembro de 2005 e 06 de janeiro de 2006. As determinações de vazões foram inicialmente realizadas mensalmente, porém o intervalo entre

a segunda e as demais ocorreu em intervalos de 36 a 104 dias, com o intuito de permitir a manifestação do crescimento das raízes.

Foram avaliados os seguintes parâmetros: coeficiente de variação de vazão (CVQ) e vazão relativa (QR) para todos os modelos de emissores utilizados no ensaio. O CVQ [eq.(1)] foi utilizado com o nome de coeficiente de variação de vazão, uma vez que o coeficiente de variação de fabricação (CVF) só poderia ser empregado em amostra de emissores novos. O QR, como índice que se refere às vazões iniciais de cada modelo no instante da realização da primeira leitura, foi obtido dividindo-se a vazão em qualquer instante pela vazão inicial do emissor [eq.(2)].

$$CVQ = \frac{S}{q_m} \quad (1)$$

em que,

CVQ - coeficiente de variação de vazão;

S - desvio-padrão da amostra, e

q_m - vazão média da amostra, $L h^{-1}$.

$$QR = \frac{q_a}{q_i} \quad (2)$$

em que,

QR - vazão relativa;

q_a - vazão atual, $L h^{-1}$, e

q_i - vazão inicial, $L h^{-1}$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

MODELOS NÃO COMPENSANTES

Na Figura 3 são apresentados os valores médios de coeficiente de variação de vazão (CVQ) e vazão relativa (QR), quantificados pela medição individual da vazão dos 14 modelos de gotejadores novos, após a instalação dos mesmos nas caixas.

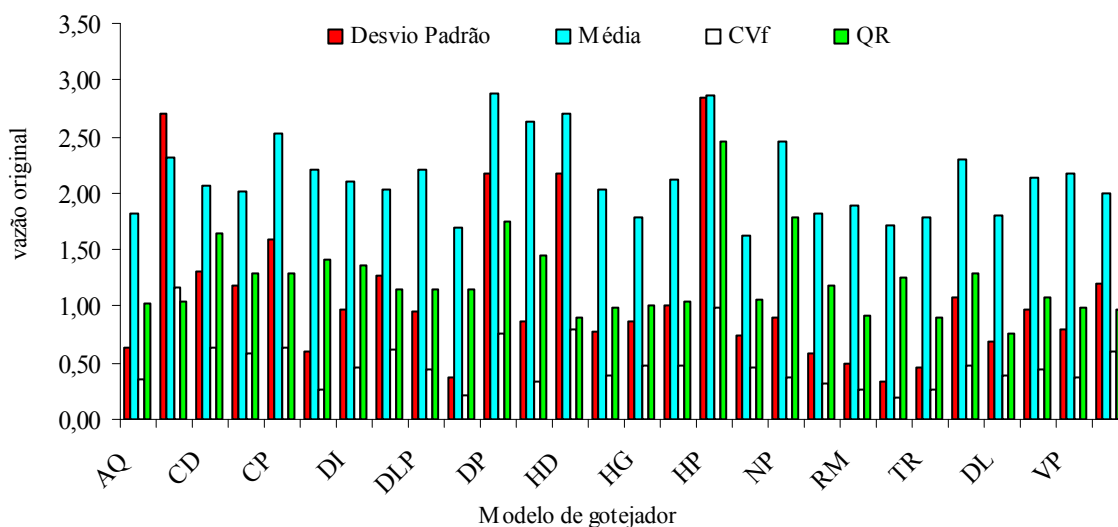


Figura 3. Resultados médios dos 14 modelos de gotejadores, novos, ao término da sua instalação nas profundidades de 15 e 30 cm.

Modelo ACQUA-TRAXX (AQ)

Na Figura 4 são apresentadas as evidências da intrusão da raiz por todo o labirinto desse modelo de gotejador, mostrando a sua susceptibilidade a intrusão radicular. Uma vez que se trata de uma fita gotejadora, o modelo AQ apresenta um percurso de fluxo de água retilíneo, conforme é apresentado na Figura 4. A água penetra por uma série de filtros em um canalículo com 122 mm de comprimento e depois passa por um labirinto com 65 mm de comprimento, que deságua em um canal livre de 42,5 mm, o qual se comunica com o corte de saída da água, assim, o comprimento total do percurso da água é de 229,5 mm.

Uma característica do modelo AQ, que poderia representar uma proteção potencial contra intrusão de raízes baseada em barreira física, se refere ao orifício de saída de água, o qual é constituído por um corte transversal na parede da fita; quando em operação, a modificação do formato da secção faz o orifício assumir um formato semi-esférico e quando fora de operação as bordas do corte permanecem unidas, evitando a penetração das raízes. Um segundo mecanismo de proteção, também baseado em barreira física, foi apresentado por Barth (1999), no qual um flap (tampão) cobre o orifício de saída de água quando fora de operação, impedindo a intrusão de raízes.

O mecanismo de barreira física não foi efetivo para evitar o processo intrusivo, pois a largura total do canal de passagem de água é de 2 mm, maior que nos demais modelos, com no máximo 1mm.

Embora não se tenha conseguido efetuar medições, a profundidade do canal é pequena, o que resulta em uma pequena secção de passagem de água, tendo como consequência, a intrusão, mesmo de raízes bem finas, suficientes para provocar significativa redução de vazão. Além disso, nesse modelo observou-se a possibilidade de a raiz penetrar no interior da secção e causar enovelamento (Figura 4).

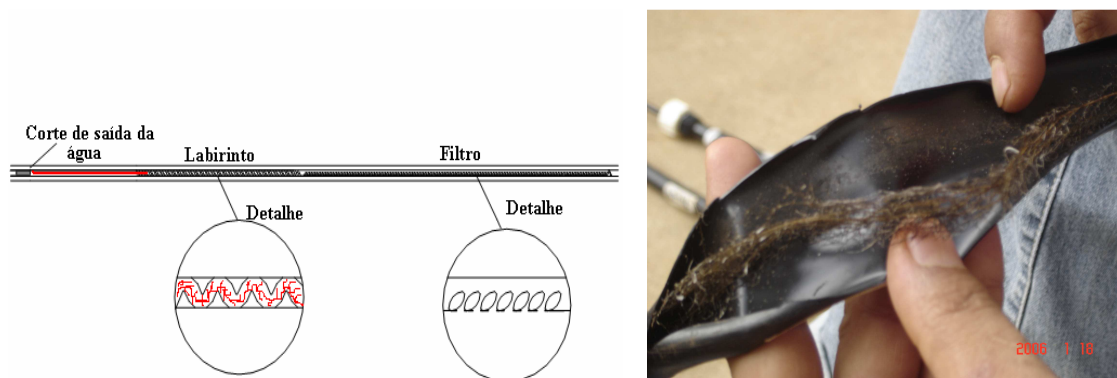


Figura 4. Detalhe do labirinto com intrusionamento das raízes no modelo de gotejador Acqua-Traxx (AQ).

Modelo CARBODRIP (CD)

No modelo Carbodrip a intrusão das raízes se deu na câmara de saída de água (Figura 5), não tendo sido observado a entrada de raízes no filtro e nem nos labirintos dos gotejadores, local onde o fluxo de água torna-se turbulento.

A evolução da vazão desse gotejador denota claramente o momento em que o processo de intrusão refletiu na vazão. Embora o avanço se verifique com uma raiz fina, a

porção anterior do labirinto e da câmara morta já se encontra totalmente tomada por uma massa densa resultante do desenvolvimento da raiz no interior do gotejador.

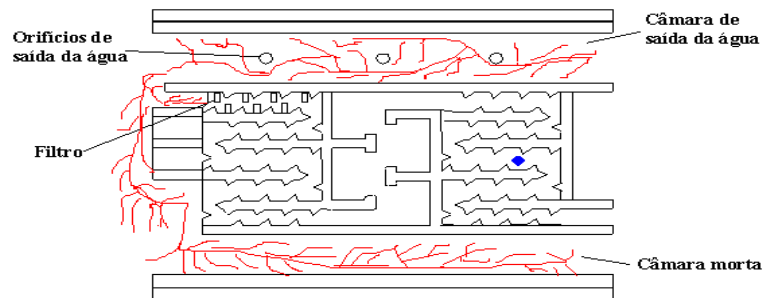


Figura 5 – Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Carbodrip (CD).

Modelo Drip In PC (DP)

No modelo Drip In PC (Figura 6) nota-se a mesma tendência do modelo Carbodrip, as raízes se alojam mais no orifício de saída de água e na entrada e saída da câmara de compensação. O comprimento do labirinto, nesse modelo é de 37,7 mm; a área de filtragem mede 12,2 mm², correspondendo à menor entre os gotejadores avaliados. A distância do orifício de saída de água até o início do canalículo, com largura de 1 mm, que dá acesso ao orifício de saída da câmara de compensação, é de 3,5 mm, constituindo-se no ponto crítico do fluxo de água desse modelo. A área da câmara de saída de água mede 264,0 mm², com igual valor para a câmara morta.

O modelo possui dois orifícios de saída de água localizados em uma das câmaras. A raiz, após intrusão e tendo alcançado a entrada do canalículo de acesso à câmara de compensação poderá passar direto para a câmara morta ou se dirigir, em ângulo de 90°, para o orifício de saída da câmara de compensação, adentrando nesta.

Uma vez estando a raiz dentro da câmara de compensação, poderá ocorrer a penetração para o interior do tubo: a membrana de silicone assenta-se em uma capa vazada, que separa essa câmara do interior do tubo; através dessas áreas vazadas ou por um pequeno canalículo, situado ao lado e pouco abaixo do nível da membrana de silicone, a raiz poderá passar para o interior do tubo.

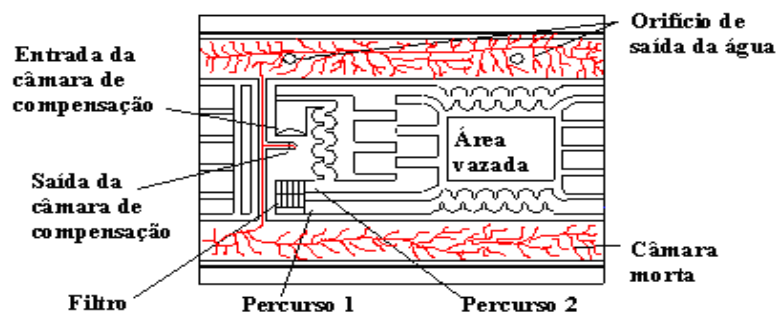


Figura 6. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Drip In PC (DP).

Modelo Tiran (TR)

O modelo Tiran apresentado na Figura 7 segue a tendência dos demais, porém há o intrusão das raízes também no filtro. O modelo TR tem configuração similar ao DL e HD, diferenciando-se destes por apresentar a maior dimensão dentre os modelos do tipo plano; o comprimento do labirinto é 113,4 mm e o comprimento total de percurso de água mede, aproximadamente, 123,6 mm. A área bruta de filtração mede 51,4 mm² e a área líquida, aproximadamente 37,4 mm², sendo a distância entre o ponto de entrada da raiz e a entrada do labirinto (ponto crítico do fluxo) de 10,2 mm e a área da câmara de saída de água de 96 mm². A largura do labirinto mede, aproximadamente, 1,0 mm. Para o fator comprimento do labirinto, o modelo é semelhante ao do tipo cilíndrico do grupo dos gotejadores não-compensantes. Tal característica não deveria permitir o intrusão de raízes no interior do tubo gotejador, com reflexo na hidráulica da linha lateral.

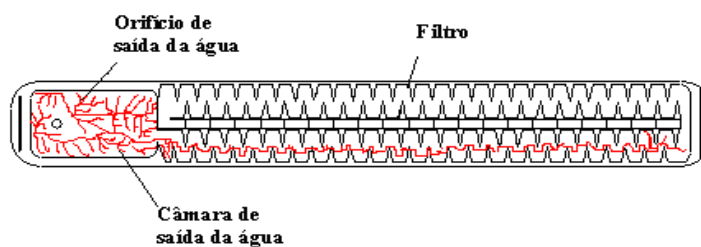


Figura 7. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Tiran (TR).

Modelo Dripline (DL)

O modelo DL tem arquitetura e dimensões similares ao HD, e sendo ambos do tipo plano o comentário efetuado para esse último é válido para o DL. O comprimento de labirinto mede 17,8 mm e o comprimento total do percurso de água mede aproximadamente 21 mm. A área bruta de filtração mede 14 mm² e a área líquida, 12,3 mm². A distância entre o ponto de entrada da raiz e a entrada do labirinto (ponto crítico do fluxo) é de 3,2 mm e a área da câmara de saída de água mede 33,3 mm². A largura do labirinto é de aproximadamente 0,7 mm. Na ilustração do modelo (Figura 8), observa-se uma total intrusão no orifício de saída de água, bem como na área de filtração desse modelo.

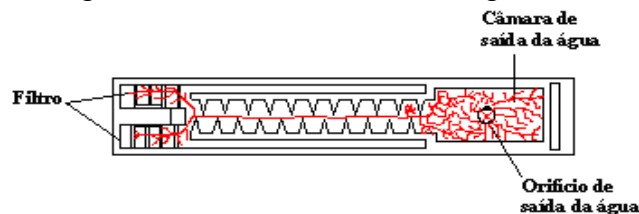


Figura 8. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Dripline (DL).

Modelo Hydro Drip II (HD)

Nos gotejadores do tipo plano (TR, DL, HD), há, teoricamente, maior probabilidade de a raiz atingir mais rapidamente a área de filtração, uma vez que existe um caminho único entre o ponto de penetração e essa área, e, a partir daí, penetrar e se

desenvolver no interior do tubo, ampliando o efeito da intrusão na hidráulica da parcela. Nesse aspecto, o comprimento do labirinto poderá influenciar na suscetibilidade do modelo à intrusão. Assim, em labirintos mais curtos, como os dos modelos DL e HD, o efeito da intrusão ocorrerá mais rapidamente do que em um labirinto mais longo, como o do modelo TR.

A raiz pode crescer linearmente, passando entre os dentes que formam o labirinto, ou contornando-os em zig-zag. Nessa fase, o efeito na redução de vazão pode ocorrer de forma parcial (Figura 9).

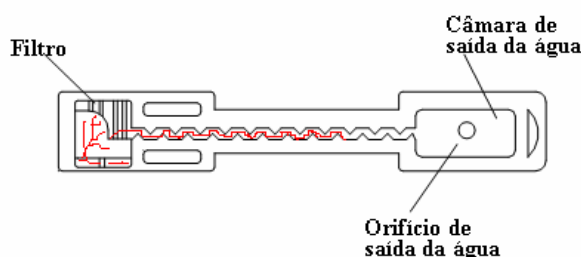


Figura 9. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Hydro Drip (HD).

Simultaneamente ao crescimento longitudinal, os segmentos anteriores da raiz se encontram em processo de alongação radial, fechando totalmente a secção de passagem de água justamente no final do labirinto (transição entre a câmara de saída de água e o início do labirinto, onde se configura o chamado ponto crítico ao fluxo) (Figura 10).



Figura 10. Intrusão de raízes em modelos de gotejadores, após corte das mangueiras com estilete.

Modelo Hydrogol (HG)

Para gotejadores do tipo cilíndrico, o comportamento extremo referido foi apresentado pelos modelos CD e HG.

Nesse caso, mais que as diferenças nos valores das variáveis de arquitetura (principalmente da área de filtragem), é provável que tenha prevalecido a arquitetura em si: o primeiro aspecto se refere a funcionalidade de dois orifícios de saída de água alocados em câmaras de saída oposta, que reduzem a probabilidade de entupimento; um segundo detalhe de arquitetura se refere à saída do labirinto, a qual no modelo HG se encontra em uma reentrância, em relação ao caminhamento da raiz, no labirinto largo de comunicação das duas câmaras de saída (Figura 11), enquanto no modelo CD essa saída se encontra rente ao caminhamento da raiz, no labirinto largo (Figura 5); um terceiro aspecto e que apresenta relação estreita com o segundo é o fato de que, no processo de montagem do tubo gotejador, há uma variação da câmara onde é realizado a furação do orifício de saída de água.

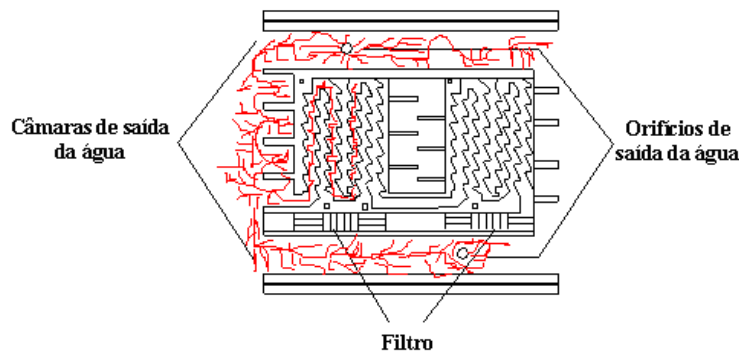


Figura 11. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Hydrogol (HG).

MODELOS AUTOCOMPENSANTES

Os valores médios de coeficiente de variação de vazão (CVQ) e vazão relativa (QR), quantificados pela medição individual da vazão dos gotejadores são apresentados na Figura 3.

Observa-se que no decorrer do período de avaliação houve aumento do coeficiente de variação de vazão e vazão relativa, sendo esta última com maiores aumentos, cuja instabilidade pode ser devido aos danos causados pelas raízes dos gotejadores à membrana de compensação, ocasionando uma instabilidade nos modelos de gotejadores autocompensantes, que pode provocar também um aumento ou diminuição de sua vazão.

Modelo Carbodrip PC (CP)

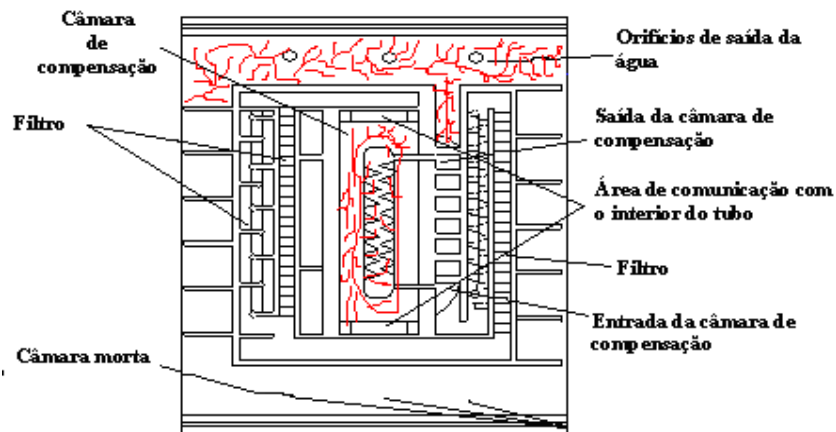


Figura 14. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Carbodrip PC (CP).

Modelo Drip In (DI)

No modelo Drip In (Figura 15) as raízes se alojaram mais na câmara morta, sendo que nos orifícios de saída de água não houve presença de raízes, o que indica a eficiência da arquitetura deste gotejador, pois com os labirintos há um maior turbilhonamento da água, dificultando a fixação das raízes nesses locais.

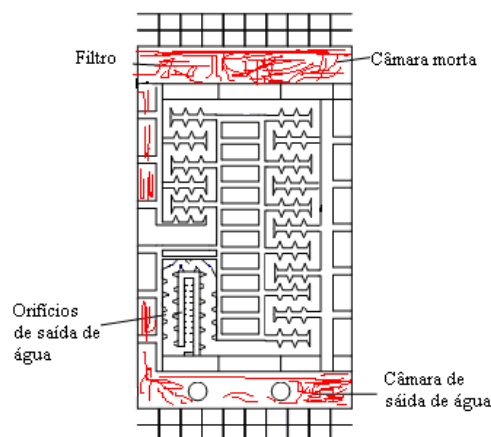


Figura 15. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Drip In (DI).

Modelo Naan Tif PC (NP)

O percurso da água no modelo NP (Figura 16), mede 154,4 mm; o trecho em labirinto estreito (largura de 0,8 mm) mede 85,0 mm. A área bruta de filtragem é de 37,3 mm² e a líquida, de aproximadamente, 27,7 mm². O ponto crítico do fluxo de água ocorre na extremidade do canalículo, com largura de 1 mm, que interliga as duas câmaras (de saída de água e a câmara morta, ambas com 247,1mm² de área).

A distância dessa extremidade até o ponto de intrusão é de 3,5mm e até a saída da câmara de compensação, de 20,9 mm. O único ponto de comunicação entre as duas câmaras é esse canalículo (em um percurso de 32,7 mm), logo, a segunda câmara se configura totalmente não-funcional.

A mudança de local do segundo orifício de saída de água, posicionando-o na câmara morta, reduziria a suscetibilidade ao efeito da intrusão, pois esse efeito somente ocorreria quando a raiz alcançasse a entrada da câmara de compensação, distante do ponto de intrusão 20,9 mm. Como no gotejador DP, a área vazada apresentada no desenho do modelo é completamente vedada pela parede do tubo de polietileno.

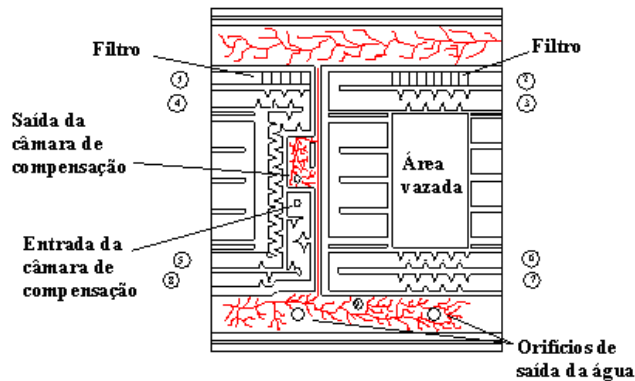


Figura 16. Detalhe do labirinto com intrusivamento das raízes no modelo de gotejador Naan Tif PC (NP).

Modelo Vip (VP)

Esse modelo, do tipo botão, apresenta as menores dimensões para todas as variáveis avaliadas: comprimento do labirinto de 6,9 mm; comprimento total do fluxo de água de 19,9 mm; área de filtragem e da câmara de saída de água de 2,6 e 8,1 mm², respectivamente.

Uma vez que o modelo tem formato de um cilíndrico sólido (360°), foram tomadas, na Figura 17, duas vistas e 180°, das quais uma de frente (a), outra de fundo (b), e uma vista superior (c).

A arquitetura do modelo conduz a raiz diretamente para a câmara de saída de água e daí para o labirinto. No momento em que alcança a câmara de saída de água a raiz já está em contato com a membrana reguladora de pressão, podendo impedir o seu correto funcionamento e resultando em aumento de vazão.

Nos modelos autocompensantes o efeito final na vazão está relacionado ao balanço do efeito combinado, tanto do bloqueio da secção do canal que comunica a câmara de saída à área de saída de água do gotejador (redução de vazão), como ao não assentamento da membrana de silicone na secção de fluxo de água (aumento de vazão).

Uma particularidade desse gotejador é que não há orifício de saída de água propriamente dito. Em vez disso, há uma área de saída, na qual se assenta uma esfera de borracha, com diâmetro de 2,8 mm, que pode vedar o canal de comunicação entre a câmara de saída de água e o ambiente externo (a atmosfera ou, no presente caso, o solo).

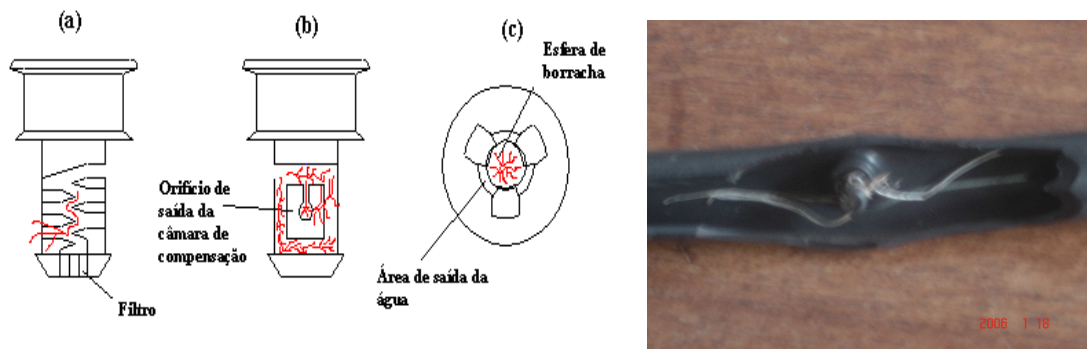


Figura 17. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Vip (VP).

Modelo Ram (RM)

Esse modelo tem arquitetura peculiar em relação aos demais gotejadores do tipo plano. Tal peculiaridade se refere ao fato de o caminhar da água ocorrer em dois níveis com relação à altura do emissor: no primeiro nível ocorre a entrada da água para o interior do gotejador através de uma área de filtragem, de 27 mm^2 , a qual é seguida de um labirinto de $17,8 \text{ mm}$ de comprimento e largura de $1,0 \text{ mm}$ entre dentes, que deságua em uma câmara com área de $71,0 \text{ mm}^2$ (câmara de saída de água 1, Figura 18 a). Nessa câmara, um orifício de $1,0 \text{ mm}$ de diâmetro faz a comunicação com o segundo nível do gotejador, formado por outra câmara de saída de água (câmara de saída de água 2, Figura 18 c), com $143,2 \text{ mm}^2$ de área, no centro da qual se localiza o orifício de saída de água do gotejador, já na parede do tubo de polietileno, com aproximadamente $1,6 \text{ mm}$ de diâmetro.

Contrariamente aos gotejadores do tipo cilíndrico, a probabilidade de interceptação da raiz com os dois orifícios não é aditiva, porquanto, em relação ao fluxo da água, os dois orifícios representam uma ligação em série. Hipoteticamente, essa probabilidade se reduz em relação aos gotejadores com apenas um orifício (gotejadores do tipo plano) sendo ainda menor para aqueles com 2 orifícios (gotejadores do tipo cilíndrico).

A raiz, para atingir o interior da câmara de compensação passa por um desenvolvimento inicial na câmara de saída de água 2, já que seria baixa a probabilidade de a raiz penetrar nos dois orifícios em uma seqüência rápida. Em relação a membrana de silicone esta não se assenta sobre a área de filtragem, o que resulta em maior facilidade de penetração da raiz no interior do tubo. Para o gotejador apresentado na Figura 18 a, embora tenha havido passagem de raiz através do filtro, a passagem ocorreu, primeiramente, pelo lado oposto da borda onde se assenta a membrana de silicone, e a partir daí, ocorreu o enovelamento no interior do tubo, conforme apresentado na Figura 18.

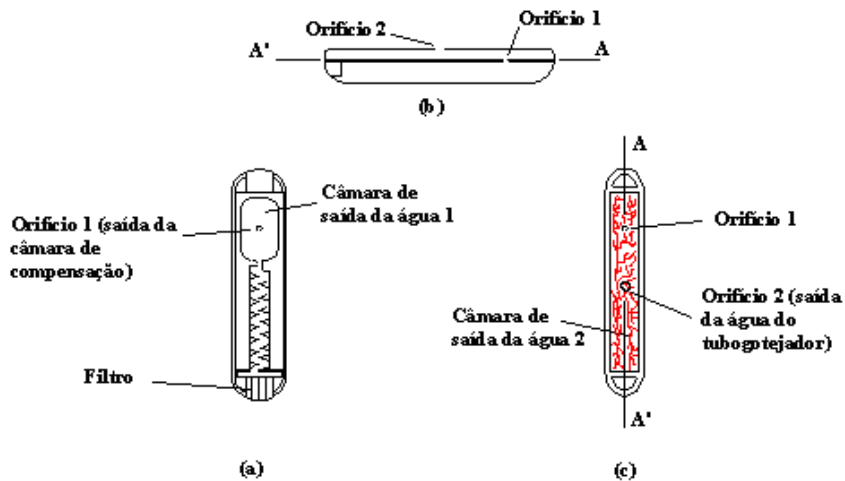


Figura 18. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Ram (RM).

Modelo Hydrodrip PC (HP)

No modelo Hydrodrip PC se observou a mesma tendência do DI, as raízes se alojaram mais na câmara morta, sendo que nos orifícios de saída de água não houve presença de raízes.

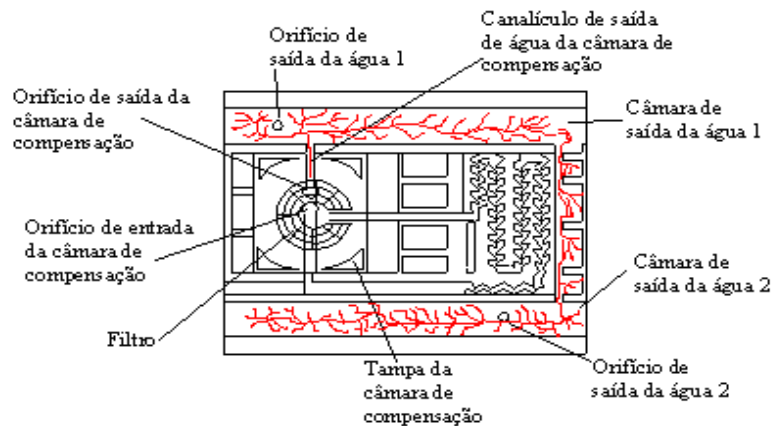


Figura 19. Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Hydrodrip PC (HP).

Modelo Dripline PC (DLP)

Para esse modelo de gotejador se observou uma maior concentração de raízes na câmara de saída de água, nos orifícios de saída de água e na câmara de compensação, com envelhecimento das raízes, sendo esses os pontos mais críticos observados para este modelo.

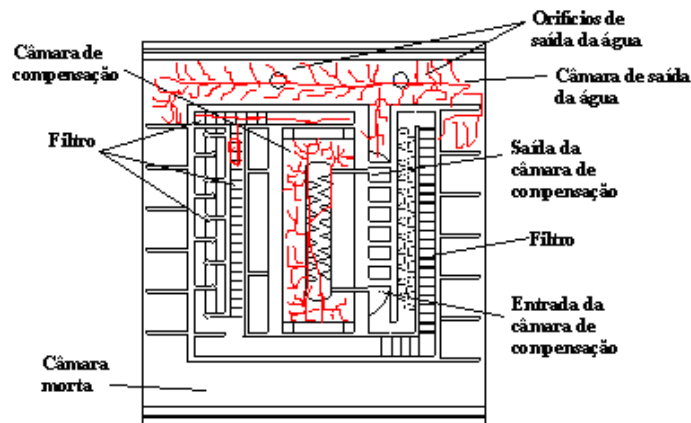


Figura 20 . Detalhe do labirinto com intrusão das raízes no modelo de gotejador Dripline PC (DLP).

Para alguns modelos de gotejadores foram observados aumentos de vazão, normalmente para os modelos autocompensantes, tendo em vista os danos causados a membrana de compensação existentes nestes modelos, e para os não compensantes, houve uma diminuição, de modo concernente ao que foi discutido anteriormente.

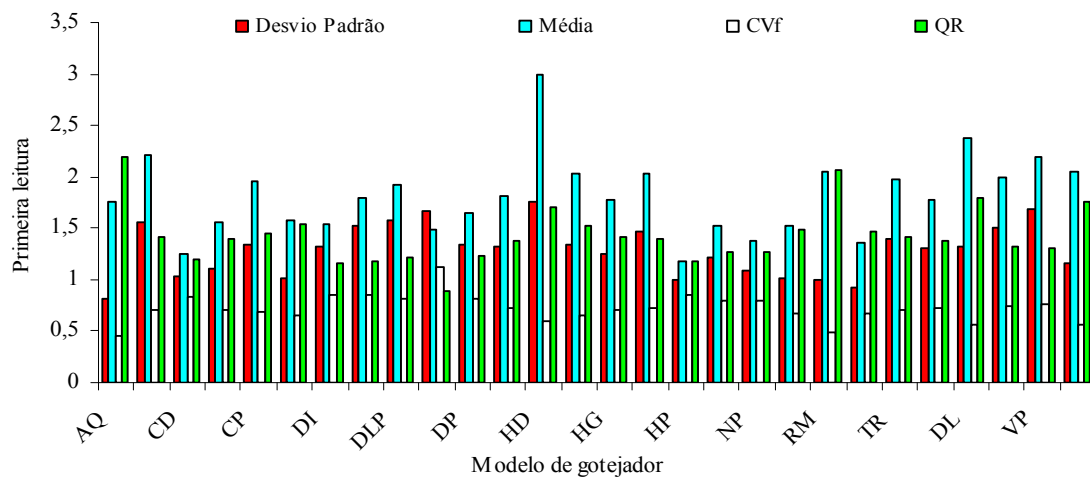


Figura 21. Resultados médios da análise de 14 modelos de gotejadores nas profundidades de 15 e 30 cm de instalação aos 32 dias da sua instalação.

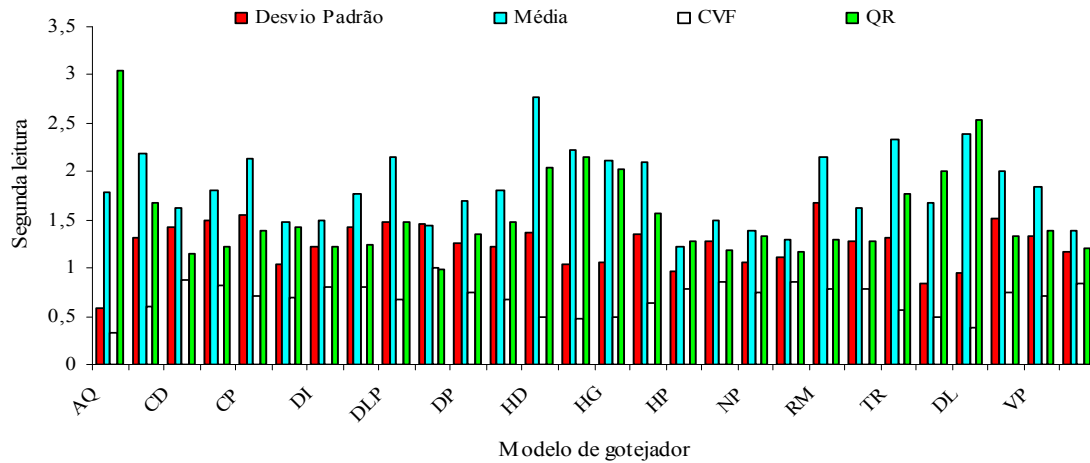


Figura 22. Resultados médios da análise de 14 modelos de gotejadores nas profundidades de 15 e 30 cm de instalação aos 69 dias da sua instalação.

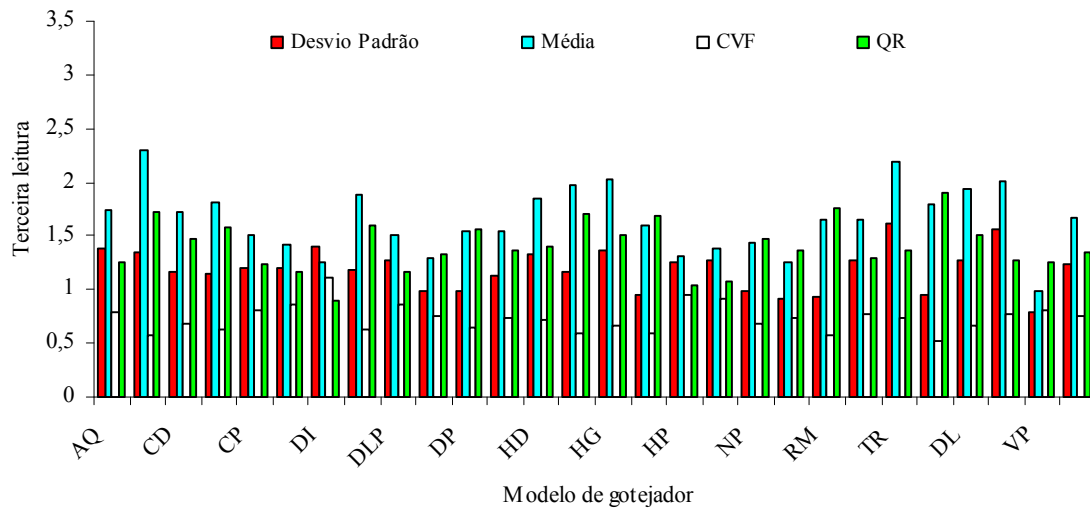


Figura 23 – Resultados médios da análise de 14 modelos de gotejadores nas profundidades de 15 e 30 cm de instalação aos 85 dias da sua instalação.

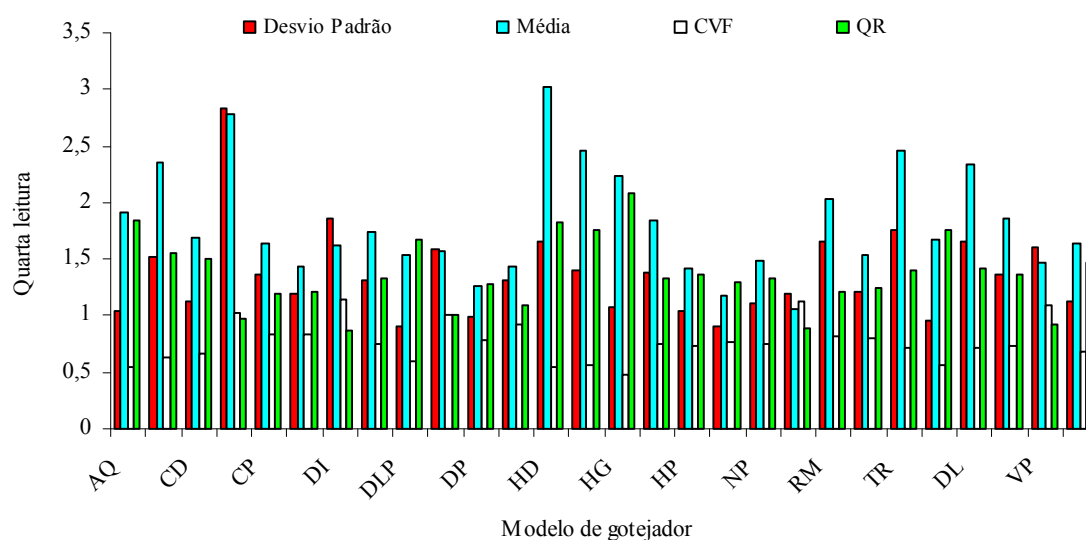


Figura 24. Resultados médios da análise de 14 modelos de gotejadores nas profundidades de 15 e 30 cm de instalação aos 131 dias da sua instalação.

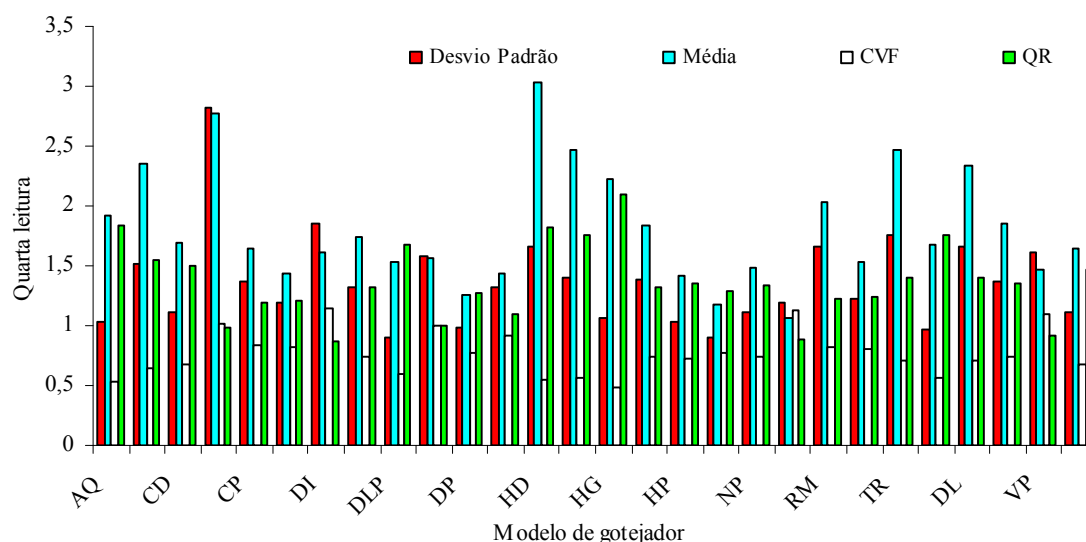


Figura 25. Resultados médios da análise de 14 modelos de gotejadores nas profundidades de 15 e 30 cm de instalação aos 235 dias da sua instalação.

A intrusão radicular da espécie de eucalipto estudada no gotejamento enterrado foi aleatória, sendo que a amostragem destrutiva do sistema radicular na área experimental do eucalipto, não apresentou evidências de que exista um crescimento preferencial das raízes em direção ao emissor enterrado. Aparentemente, o sistema radicular vai se espalhando pelo solo e se coincidir do orifício do gotejador estar na direção de crescimento da coifa radicular, a intrusão ocorrerá de maneira irreversível.

A hipótese de que o sistema radicular sob estresse hídrico seria mais agressivo ao gotejamento enterrado não se confirmou de maneira conclusiva. O sistema radicular das plantas em condições consideradas como de adequada umidade apresentou um notável vigor, que por sua vez, poderá ser também bastante agressivo aos emissores.

6 CONCLUSÕES

Os diferentes modelos de gotejadores testados apresentaram diferentes graus de sensibilidade às variações de vazão no gotejamento subsuperficial. De maneira geral, os autocompensantes foram mais instáveis, tendendo a apresentar aumento de vazão nos emissores enterrados, na presença de raízes de eucalipto e partículas de solo, enquanto os emissores não compensantes foram mais estáveis, porém alguns deles tenderam a apresentar redução de vazão.

Distúrbios de vazão nos gotejadores ensaiados foram mais pronunciados nos modelos Acqua-Traxx, Carbodrip, Hydrogol e Hydro Drip II, o que evidencia as diferenças tecnológicas existentes nos produtos.

Nenhum dos emissores ensaiados demonstrou possuir mecanismos que impeçam efetivamente a penetração das raízes em seu interior, mesmo aqueles que, usualmente, são recomendados para uso no gotejamento subsuperficial.

7. 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 J. Subsurface drip irrigation-past, present and future. In. [DECENDIAL NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM], 4., 2000, Phoenix. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2000 p. 363-372.

NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, Nova York, v.12, p. 187-192, 1991.

SHANI, U. et al. Soil-limiting flow from subsurface emitters. I: pressure measurements. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, 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.6 71-679. 1996.

ZOLDOSKE, D. F. Root intrusion prevention. **Irrigation Journal**, New York, v. 49, n.4, p.14-15, 1999.