



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0803322-6 A2**



\* B R P I O 8 0 3 3 2 2 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 11/09/2008  
(43) Data da Publicação: 08/06/2010  
(RPI 2057)

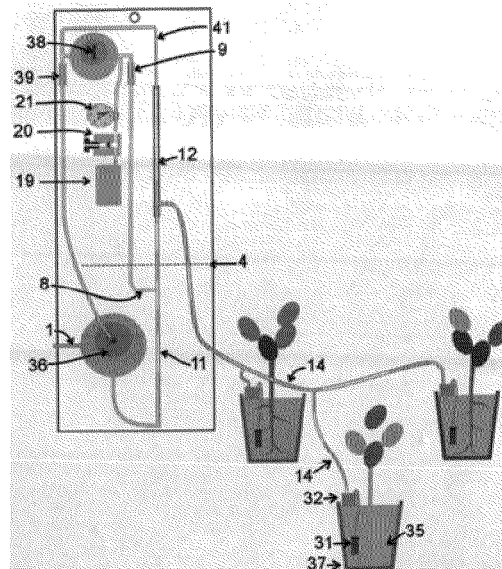
(51) *Int.Cl.:*  
A01G 25/16  
A01G 27/00

(54) Título: **SISTEMA DE GOTEJAMENTO PARA IRRIGAÇÃO E AREJAMENTO COM VAZÃO AJUSTADA POR FLUXO DE AR**

(73) Titular(es): EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(72) Inventor(es): Adonai Gimenez Calbo

(57) Resumo: A presente invenção refere-se a um sistema de gotejamento com vazão de água ajustada por um fluxo de ar, que eleva a água por um tubo de entrada de água (11) e depois distribui água e ar juntamente por gravidade. O fluxo de ar é introduzido acima da metade da altura de coluna água em um tubo de entrada de água (11). A bifurcação (13) para a saída de água e ar, acima do nível da água (4), é ligada ao tubo de elevação de água e ar (12) para acumular água e promover o escoamento intervalado de água e ar pelo tubo de gotejamento (14). Assim, a vazão de água é definida através do fluxo de ar controlado mediante ajuste de pressão de ar (20). Por não envolver tubos com diâmetro aproximado de 3 mm é um sistema pouco susceptível a entupimento que possibilita ajuste de vazão de água entre 1,0 mL.h<sup>-1</sup> e 1000 mL.h<sup>-1</sup>. O ajuste de vazão e o desligamento neste sistema são pneumáticos. Também é um sistema compatível com controladores de gotejamento de acordo com cápsulas porosas que se tomam permeáveis ao ar em solo seco.



**Relatório de Patente de Invenção: “SISTEMA DE GOTEJAMENTO PARA IRRIGAÇÃO E AREJAMENTO COM VAZÃO AJUSTADA POR FLUXO DE AR”.**

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a um novo sistema de gotejamento para plantas que possibilita a aplicação de vazões de água, mesmo reduzidas, com baixa possibilidade de entupimento, sem demandar demasiado do sistema de filtragem. O sistema controla a vazão e o fechamento da água por ajuste de pressão de ar. O sistema é ainda compatível com um controlador de gotejamento para o manejo automático da

10 umidade do solo. O sistema pode ser aplicado à irrigação de pomares, jardins e ambientes domésticos. Por possibilitar ajuste de vazões reduzidas de líquido mesmo com partículas em suspensão, é um sistema que pode ser útil em aplicações especializadas de irrigação de substratos, fertirrigação e até na aplicação de líquidos que tenham tensão superficial dentro da faixa que a água assume entre zero e 60 °C.

15 FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Há numerosos sistemas de gotejamento desenvolvidos principalmente a partir de 1970 para aplicar água próximo no sistema radicular das plantas com intuito de economizar água, evitar erosão e de reduzir a lixiviação de nutrientes minerais. Sistemas adequados para aplicar os conceitos de gotejamento têm incentivado

20 numerosos desenvolvimentos de gotejadores, alguns dos quais fixados em distribuidores radiais de gotejamento, também denominados “bubblers”, nos quais a vazão de água pode ser ajustada em cada dos tubos de gotejamento. Apesar dos desenvolvimentos, por enquanto a tecnologia de gotejamento continua cara e em geral envolve sistemas de mangueiras e gotejadores frágeis, de pouca durabilidade e que requerem manutenção.

25 Dificuldades deste tipo têm inibido a aplicação mais extensiva de gotejamento, que ainda é um método muito menos utilizado do que sulcos e aspersão, apesar de propiciar diversas vantagens, dentre as quais a aplicação mais eficiente da água.

Alguns dos aspectos mais importantes relativos às características dos sistemas de gotejamento disponíveis, de acordo com o estado da arte, foram listados por

30 Gillad em 1972 (Gb 1392000), quando descreveu, em Israel, a preparação de gotejadores menos sujeitos aos entupimentos do que os gotejadores de micro tubo, fazendo uso de corpo em plástico injetado contendo um labirinto para o escoamento da

água. Nestes percursos em labirinto o corpo de água em movimento é forçado a alterações bruscas na sua direção de escoamento, o que causa dissipação de energia, pressão, sem que haja necessidade de orifícios tão finos ou tubos tão longos, quanto nos microtubos. Com orifícios maiores no labirinto e com entradas de diâmetro menor estes gotejadores eram menores e menos sujeitos ao entupimento. Quinze anos mais tarde este fundamento foi aprimorado em Israel, quando Gorney em 1987 (US4655397) introduziu o gotejador de vortex. Neste novo sistema também ocorrem alterações bruscas de direção do fluxo da água em um caminho com desenhos sinuosos e arredondados, necessários para promover circulações localizadas em vortex. Mesmo com esta melhoria adicional, no entanto, conseguiu-se atender apenas parcialmente aos critérios de idealidade para um gotejador, que segundo Gillad (GB 1392000) são: a) fornecimento de gotejamento uniforme e de baixa vazão; b) não entupimento dos gotejadores mesmo sem o uso de sofisticados sistemas de filtragem da água; c) unidades de gotejamento pequenas para facilitar o transporte e a montagem.

Hardison em 1975 (US 3910500) descreve um sistema de irrigação muito parecido com os modernos sistemas de gotejamento, que possibilitam também para a aplicação de nutrientes minerais solúveis na denominada fertirrigação. Essa invenção envolve o uso de um sistema com pelo menos dois filtros de areia, para que a irrigação possa prosseguir durante a limpeza de um destes filtros de areia por retrolavagem. O uso de sistemas de fertirrigação, como o descrito, associado ao gotejamento, trouxe possibilidades agrícolas valiosas, porém aumentou ainda mais a severidade do entupimento dos gotejadores, o que continua sendo a grande limitação para a durabilidade dos gotejadores e das próprias mangueiras.

Uma outra dificuldade para o funcionamento dos sistemas de gotejamento é a pressão da água. Uma solução para sistemas de topografia irregular, nos quais se tenha levantado curvas de nível é descrito por Boice em 2005 (US 6953156), que usa reservatórios intermediários com bóia em cada um dos níveis principais. Destes a água é conduzida para as mangueiras com os gotejadores. O sistema, no entanto, é de implementação complicada pelo fato das mangueiras serem posicionadas, não diretamente ao longo das curvas de nível, mas sim em um ligeiro desnível, para que a pressão de água seja a mesma ao longo de toda a mangueira com gotejadores.

Para conseguir vazão de água estável, de acordo com proporcionalidade entre a vazão e a diferença pressão, quando a resistência de fluxo é determinada pelo regime de transporte viscoso da água, foram desenvolvidos diversos gotejadores que fazem uso da compressão de membranas flexíveis e de outros dispositivos mecânicos.

5 Todos estes dispositivos de controle de gotejamento, assim como os considerados até aqui apresentam vazão proporcional à viscosidade da água e, portanto, são dispositivos nos quais a vazão é fortemente dependente da temperatura, visto que a viscosidade da água e de outros líquidos decresce de maneira aproximadamente linear com o inverso da temperatura (MOORE, W.J. Physical chemistry. New Jersey: Prentice-Hall, 1972. 977  
10 p.).

Dentre os sistemas que usam de tubos e membranas flexíveis inclui-se o de Mullett em 1977 (US 4037791) na Austrália que usa um micro tubo colapsável de pequeno diâmetro atravessado por um fio de cobre. Nesses sistemas, os gotejadores são colocados por dentro da mangueira. O aumento da pressão da água na mangueira  
15 comprime o micro tubo, proporcionalmente, porque a pressão no interior do microtubo é menor e reduz-se à atmosférica, na sua saída. Assim, a pressão da água na mangueira causa a redução de diâmetro do micro tubo e desta forma mantém a vazão do gotejamento quase constante em uma faixa de pressões de trabalho. O fio de cobre inserido, no micro tubo, inibe o crescimento de raízes ou algas, e evita entupimento. A  
20 limitação do sistema é a pluralidade de micro tubos inseridos no interior da mangueira, o que é uma dificuldade para a fabricação e é uma causa de perda de pressão no interior da mangueira, cuja secção é parcialmente obstruída por microtubos. Variações de temperatura neste sistema causam variações de vazão não só pelo efeito da temperatura sobre a viscosidade da água, mas também pelo efeito da temperatura sobre os  
25 componentes dos materiais plásticos que compõem o gotejador. Marans em 1998 (US 5820029) nos Estados Unidos desenvolveu um gotejador compacto para inserir, externamente, em mangueiras plásticas. Este gotejador faz uso de meandro tridimensional tortuoso encimado por uma membrana flexível, que dá a este gotejador a característica de vazão, isotérmica, quase independente da pressão. Similar dispositivo  
30 de compensação de pressão da água que faz uso da compressão externa de uma membrana é o descrito por Daigle em 1999 (WO 9902273). Outros gotejadores, diferentemente, controlam a vazão através de elemento plástico poroso como, por

exemplo, no sistema de Carmo em 1984 (PI 8402982) desenvolvido para uso em irrigação subsuperficial. Elemento plástico poroso deste tipo, desde que elástico, pode não só controlar a vazão, mas também compensar as variações da pressão usando elementos porosos elásticos. Assim, Smith em 1982 (US 4344576) descreve um

5 gotejador miniatura acoplável às mangueiras de irrigação com o uso de uma membrana porosa plástica e elástica, colocada entre a saída do gotejador, à pressão atmosférica, e uma placa perfurada rija e interna de aperto, diretamente em contato com a água à pressão do interior da mangueira. Quando a pressão no interior da mangueira aumenta a placa rija e perfurada amassa o elemento plástico poroso e elástico, para desse modo

10 manter a vazão praticamente constante, dentro de uma faixa de pressões de trabalho. Estes gotejadores resolvem com maior ou com menor qualidade a questão do ajuste da vazão em função de variações da pressão de água, no entanto, são dispositivos ainda susceptíveis a entupimentos causados por impurezas da água de irrigação e por impurezas succionadas do solo. Mais ainda, conforme Rafi em 2004 (WO 2004098269)

15 que descreve em um sistema de gotejamento que usa uma pequena pressão de água, os gotejadores com controle de pressão do tipo mencionado neste parágrafo, demandam elevada pressão e, portanto, causam alto consumo de energia.

Dentre os sistemas de compensação de pressão desenvolvidos com componentes mecânicos rígidos, incluem-se os que fazem uso de flutuadores como o

20 descrito por Recanati em 1985 (EP 0222966) da Itália, no qual um flutuador ajusta o nível da água de uma câmara aberta para a atmosfera e em seguida a vazão é ajustada em um orifício. Similar, porém mais complexo, é o gotejador desenvolvido por Moss em 1985 (US 4509692). Também é de flutuador o gotejador desenvolvido por Goodman em 1988 (US 4753394) que possui estrutura alongada para inserção no solo e para a

25 ligação a mangueiras de irrigação, em nível. Gonçalves em 2007, no documento PI 0504094-9, descreve um sistema de potes com flutuadores, opcionalmente temporizados, e uma saída em restrição pouco sujeita aos entupimentos com o intuito de melhorar a uniformidade de irrigação, com o uso de um sistema que requer baixa pressão de água. Bem diferente é a compensação de pressão através de um êmbolo ranhurado que empurra uma mola como o descrito por Eckstein em 1987 (US 4653695).

30 Outros sistemas de compensação de pressão são os de vazão da água, ajustada com uma esfera que bate em um topo ranhurado como descrito por Mendenhall em 1988 (US

4726527). Todos os dispositivos considerados neste parágrafo, em menor grau o último, são pouco susceptíveis a entupimentos, seja porque envolvem componentes móveis de ação auto-limpante, seja porque possuem baixa pressão de água no seu interior, de modo que a vazão é controlada em restrição de diâmetro elevado. No entanto, a redução da viscosidade da água em função do aumento da temperatura também causa substanciais variações na vazão ajustada nestes gotejadores dependentes da passagem da água através de restrições.

Para o problema de entupimento de gotejadores, além do desenvolvimento de filtros, foram efetuados diversos aprimoramentos nos gotejadores, alguns dos quais, são denominados de gotejadores auto-limpantes, apesar de não serem intrinsecamente melhores do que alguns dos gotejadores compostos de partes rijas, descritos no parágrafo anterior. Um gotejador auto-limpante descrito por Pearce em 1973 (GB 1450684) envolve um sistema no qual a água e as impurezas atravessam uma resistência em espiral encimada por uma membrana flexível. Durante a passagem da impureza o controle de vazão é prejudicado, porém, em geral a impureza é expelida do gotejador. Um outro gotejador denominado auto-limpante foi descrito por Werner em 1977 (US 4059228) e contém uma série de elementos deformáveis montados em uma estrutura com maior complexidade.

Entre os gotejadores menos susceptíveis a entupimentos há também aqueles com mecanismo anti-sifonamento, como o desenvolvido por Ruskin em 2006 (US 2006255186), que usa de uma membrana flexível para vedar a saída de água, quando é fechado o fluxo de água para irrigação. Deste modo evita-se que a tensão da água desenvolvida em algumas partes da mangueira cause a sucção de partículas de solo pelo gotejador, o que causa entupimentos, especialmente em sistemas subterrâneos sem estruturas de proteção para abrigar os gotejadores. Ao invés de mecanismo anti-sifonamento, Cohen em 1998 (US 5829686) descreve um gotejador com saída contendo pequenas garras voltadas em direção à saída da água que impedem a sucção de partículas de solo, que entupiriam o gotejador. Os gotejadores com compensação de pressão auto-limpantes ou não, descritos nos dois últimos parágrafos, em geral demandam o uso de água sobre pressões elevadas, e conseqüente consumo adicional de energia. Adicionalmente, como nos demais gotejadores considerados a redução da viscosidade da água em função do aumento da temperatura é fator de substancial

aumento da vazão, que causa um aumento 63% na vazão da água, por exemplo, enquanto a temperatura aumenta de 10 para 30 °C.

Há também sistemas com ajuste de vazão rústico e pouco sujeitos a entupimento, por exemplo, para a irrigação com águas residuárias. Sistema deste tipo é descrito por Pollock em 1982 (US 4317539) em Edinburgo, no qual a pressão da água em um conjunto de tubos com diâmetro da ordem de pelo menos uma polegada é ajustada em um barostato, que faz com que o excesso de pressão seja dissipado mediante o retorno da água retorne para o reservatório de água residuária. Estabelecida diferença de pressão o ajuste da vazão é feito rosqueando-se luvas a tubos de PVC levantados com ponta em nível e contendo, no topo, rosca alongada com corte longitudinal, por onde a água escorre. O sistema é pouco propenso a entupimento por envolver o escoamento da água através de uma fenda com largura da ordem de milímetros. O sistema, no entanto, requer ajuste de vazão individual nos gotejadores, e não possibilita maior precisão.

Uma alternativa para evitar o entupimento tem sido o uso de gotejadores de elevada vazão, com os quais a água é aplicada durante curtos intervalos de tempo, como é descrito no sistema de Spencer em 1974 (US 3797741). Evidentemente, gotejadores de alta vazão fazem uso de restrições com diâmetro maior e desse modo são menos susceptíveis às impurezas que causam entupimentos. De fato, esta abordagem de temporizar a aplicação da água vem sendo utilizada nos mais diferentes sistemas, e talvez por esta razão a maioria dos gotejadores atuais são fabricados para vazões entre 0,5 e 4,0 litros/hora. Possivelmente, a necessidade de fabricar gotejadores com restrições de diâmetro maior, menos propensos a entupir, é a base da falta de gotejadores comerciais com vazão muito menor que 0,5 litros/hora, que seriam importantes, por exemplo, no cultivo de plantas em substratos de molhabilidade difícil, como a fibra de coco. Assim, evidentemente, gotejadores comerciais que tivessem vazões nominais dez a cem vezes menores e que não fossem susceptíveis a entupimentos, seriam muito bem vindos no mercado. Adicionalmente, gotejadores de alta vazão em solos com baixa condutividade hidráulica são causa de escorrimento e obstrução da entrada de oxigênio através de macro poros cheios de ar, ao mesmo tempo em que em solos altamente permeáveis, por outro lado, facilitam a lixiviação de nutrientes minerais para o subsolo e para o lençol freático.

A inspeção, a limpeza e/ou a substituição de gotejadores é, em geral uma tarefa trabalhosa porque envolve um número elevado de gotejadores por unidade de área, que só podem ser individualmente limpos caso a limpeza seja feita com rapidez e economia de mão de obra. Alternativamente, haveria viabilidade caso todos os gotejadores de um sistema fossem susceptíveis de limpeza, simultaneamente, por exemplo, com o método proposto por Keren em 2006 (US 0144965) que usa água limpa a uma pressão menor que um valor limiar de pressão dos gotejadores com compensação de pressão, cuja resistência à vazão da água diminui nesta condição. Por outro lado, substituição de gotejadores, quando esta é possível, em geral, trata-se de um processo de baixa qualidade, visto que as rebarbas de fixação causam danos ao tubo durante a remoção do gotejador, de modo que após o encaixe de um novo gotejador é comum a ocorrência de vazamento. Assim, o entupimento dos gotejadores tem causado grande ônus aos produtores, que em geral descartam os tubos com gotejadores após pouco mais um ano de uso.

O gotejamento em adição a água e nutrientes minerais solúveis, pode também aplicar oxigênio, para a irrigação subterrânea de solos compactados nos quais o transporte de oxigênio até as raízes seja restrito. Neste sentido, Mazzei em 2004 (US 2004005193) apresenta um sistema de aplicação de água e micro bolhas de ar, em um dispositivo que prevenia irrigação desuniforme, causada por acúmulo de ar na tubulação. Segundo este documento, micro-bolhas de ar são razoavelmente estáveis, porém separam-se da água progressivamente e o ar se acumula nos locais mais elevados, de cujos gotejadores flui principalmente ar. Desta forma, no sistema em questão há um dispositivo sensível ao nível de água que possibilita o escape de ar e que impede a passagem de água. Com isto, reduz-se a variabilidade da irrigação ao mesmo tempo em que se supre oxigênio para as plantas. No entanto, a distribuição desuniforme de bolhas de ar pode causar variabilidade de gotejamento e variabilidade aplicação localizada de ar. Uma outra forma de aplicar ar para melhorar a aeração do solo e a produtividade das plantas é através do sistema de gotejamento proposto por Potts em 2005, no documento US 6959882. Este sistema envolve o uso de pressões de água da ordem de 35 kPa e de pressões de 2,5 a 25 kPa para a aplicação do ar. Neste caso, as aplicações do ar e da água ocorrem separadamente no tempo. Nestes sistemas a vazão

da água nos gotejadores também é influenciada pela temperatura mediante o seu efeito sobre a viscosidade da água.

O uso de ar em associação com sistemas de irrigação também pode visar o manejo de irrigação em tensões de água controlada conforme descrito por Calbo em 2000 (PI 0004264). Neste documento, descreve-se o uso da passagem de ar forçada através de cápsulas porosas com tensões críticas, ou pressões de borbulhamento (Pb), definidas na fabricação. O sistema funciona de maneira linear para a tensão da água no solo, como se fosse um tensiômetro, que opera entre zero e uma tensão de água de magnitude igual ao módulo de Pb. Os usos do sistema gasoso de controle de irrigação são para a medição da tensão da água no solo e para o manejo tensiométrico da irrigação, com ou sem automação, porém não se trata de um sistema específico para ajustar a vazão da água em gotejadores.

Outros documentos que também descrevem a utilização de ar em sistemas de irrigação por gotejamento são referentes aos sistemas das patentes US 4519546 e US 4781687 que utilizam bolsa de ar e bexiga de ar, respectivamente, para controlar a pressão e a vazão para aplicações agrícola e médica, respectivamente. Estes sistemas do ponto de vista físico também têm a vazão dependente da temperatura mediante o efeito deste fator sobre a viscosidade da água. A patente US 4174067 utiliza uma fonte de líquido pressurizado; um meio (geralmente um tubo plástico com pequenas fendas) para conduzir o líquido da origem para pontos de irrigação individuais; uma fonte de ar comprimido conectada à passagem do líquido e um controle para parar temporariamente o suprimento de líquido e para suprir ar comprimido e deste modo o ar é utilizado como uma ferramenta para desentupir os gotejadores, fendas de gotejamento.

Distribuidores gotejadores e tubos flexíveis fixados radialmente a uma cabeça, como descrito no documento US 2004074997 (Sacks, 2004), possibilitam a conexão prática aos tubos de distribuição de água e ao mesmo tempo possuem uma forma simples de ajuste da vazão para os gotejadores, inclusive com a possibilidade de fechamento para a troca dos tubos flexíveis, em um registro. Outros distribuidores radiais de gotejamento tipo "bubbler" estão descritos em documentos como: os de Olson (1991, US5054690) que possui um pequeno filtro e diversos gotejadores; o sistema de Mendenhall (1988, US 4726527) que utiliza saídas com fluxo controlado

através gotejadores de esferas metálicas; e o sistema de Goodman (1988, US 4753394), que faz um uso de um flutuador para reduzir a pressão e de tubos de distribuição curtos e em nível para conduzir a água. Distribuidores radiais de gotejamento facilitam a irrigação de fruteiras e são úteis em jardinagem, porém não envolvem novidades, no que  
5 diz respeito à forma com a qual se controla da vazão da água, nem sobre as formas de reduzir o entupimento dos gotejadores.

A necessidade de reduzir a evaporação da água do solo, a competição de plantas invasoras e o entupimento de gotejadores pela sucção de partículas de solo tem sido alguns dos principais motivos para o desenvolvimento de estruturas acessórias de  
10 proteção aos gotejadores. Assim, no sistema de York & York em 1992 (US 5102259), para irrigação sub-superficial, faz-se uso de um dispositivo de base alargada e com tampa no qual o gotejador é protegido. A instalação é feita em uma cavidade de profundidade adequada para a irrigação. No sistema de Ogi em 2003 (US 2003017001), a água e o oxigênio são conduzidos até as raízes em solos compactados, principalmente  
15 em ambiente urbano, por um tubo poroso de comprimento adequado. Neste sistema, a água escorre pelas laterais da parede porosa do dispositivo de areação. Na proteção de gotejador de Mangels & Candy em 1988 (US 4765541), o emissor de água é colocado em um cilindro de encapsulamento com tampa, no qual o gotejador é inserido. Alguns gotejadores, especificamente já possuem corpo alongado para a inserção no solo e  
20 também para possibilitar a irrigação sub-superficial na profundidade adequada, como é o caso do gotejador de Hartmann de 1979 (US 4153380), que usa uma bóia e um orifício para ajustar a vazão da água.

Para reduzir as dificuldades consideradas acima, na presente invenção descreve-se um sistema de irrigação simples e prático, que inclusive possibilita a  
25 aplicação de vazões de água muito reduzidas. O sistema proposto inova pelo fato de ajustar a vazão de água mediante a aplicação de um fluxo de ar que eleva a água que, a seguir, escoar para tubos de gotejamento, nos quais o fluxo de ar e a própria vazão da água estão ajustadas. Por aplicar ar e água em tubo único trata-se de um sistema em que a vazão pode ser ajustada, ligada e desligada pneumáticamente. Em adição, o sistema  
30 pode suprir as raízes com oxigênio, em casos de solos compactados, ou pode utilizar a introdução de ar, como energia de acionamento, para o manejo de irrigação com o uso de um dispositivo gasoso de controle de irrigação.

## SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um sistema de gotejamento com vazão ajustada por um fluxo de ar, que eleva a água em um tubo de entrada de água (11) para depois conduzi-la com ar através de um tubo de gotejamento. Assim, sendo os sistemas de ajuste de fluxo de ar pouco susceptíveis a entupimento, então, a aplicação de gotejamento ajustado por fluxo de ar também é pouco susceptível a entupimento, mesmo que as vazões de água sejam reduzidas à ordem de  $1,0 \text{ mL.h}^{-1}$ . A condução conjunta de ar e água é um diferencial do presente sistema, cuja vazão pode ser ajustada e desligada pneumáticamente. Adicionalmente, o sistema é compatível com um controlador de gotejamento, para gotejadores, fazendo uso de sensores de cápsula porosa, que se tornam permeáveis ao ar quando em equilíbrio com solos sob tensão de água maior que um dado valor crítico, característico do sensor. Pouco susceptível a entupimento por partículas em suspensão o presente sistema de irrigação é adequado para irrigação tradicional, fertirrigação, aplicação de defensivos e mesmo para gotejamentos especiais com outros líquidos com tensão superficial, preferencialmente, maior que  $0,040 \text{ N/m}$ .

A presente invenção diz respeito a um sistema de gotejamento para irrigação e arejamento caracterizado por possuir compressor de ar (19); reservatório de água (17); tampa (18); tubo extravasor (2); bóia (3); contentor (15) contendo orifício (16) na região superior; distribuidor de ar (8); restrição (9); tubo de entrada de ar (10); tubo de entrada de água (11); tubo de elevação de água e ar (12); bifurcação (13) fazendo a ligação dos tubos de elevação de água e ar (12), tubo de entrada de água (11) e o tubo de gotejamento (14). O sistema da presente invenção é caracterizado por compreender as seguintes etapas no funcionamento:

- a) entrada de água pelo tubo de entrada de água (11), contido no reservatório de água (17), cujo nível é ajustado por controlador de pressão de água, tubo extravasor (2) e bóia (3), por exemplo;
- b) entrada de ar do compressor de ar (19) por um tubo (7) até o distribuidor de ar (8) a partir do qual o fluxo ar é controlado por passagem em uma restrição (9);
- c) passagem do ar pelo tubo de entrada de ar (10) causa a elevação da água no tubo de entrada de água (11) que é aberto na base (6);

d) na travessia entre os tubos de entrada de água (11) e o tubo de gotejamento (14) a pressão é acomodada no tubo de elevação de água e ar (12);

5 e) a partir do tubo de elevação de água e ar (12) a água e ar são passados para o tubo de gotejamento.

O sistema da presente invenção pode ter o controle de pressão de bóia (3) substituído por válvula diferencial (36), sem haver perda de desempenho. Estas válvulas são particularmente úteis para o uso da presente invenção.

10 No sistema da presente invenção os gotejadores podem estar dispostos, preferencialmente em arranjo radial ou painel e podem escoar através de um aplicador subsuperficial, para melhorar a aplicação localizada e para reduzir a possibilidade de entupimentos na saída do tubo de gotejamento (14), ou na saída de controladores de gotejamento (32).

15 O sistema da presente invenção é ideal para distribuidores com número indeterminado de gotejadores. Por possibilitar ajustes de vazões reduzidas de líquido, mesmo com partículas em suspensão, é um sistema que pode ser útil em aplicações especializadas, para a irrigação de substratos onde é ideal o uso de baixas vazões e para uso com fertirrigação.

#### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

20 **Figura 1:** Ilustração do sistema de distribuição de gotejamento, montado em arranjo radial, contendo a vista de dois gotejadores, nas laterais.

**Figura 2:** Mini-compressor, regulador de pressão com escape de ar, manômetro e distribuidor de ar.

25 **Figura 3:** Detalhe de um tubo de gotejador conectado a um sistema radial de distribuição de irrigação para uso em arbustos e em jardins.

**Figura 4:** Dispositivo em que a vazão da água carrega ar, com auxílio de um tubo de elevação de água e ar aberto para a atmosfera com o intuito de introduzir ar e evitar que o sifonamento gere perda do ajuste da vazão.

30 **Figura 5:** Dispositivo de irrigação que usa ar, ou outro gás, introduzido juntamente com a água para fechar a saída de água no manejo de irrigação, de acordo com elementos porosos que se tornam impermeáveis ao ar conforme o solo é suficientemente umedecido, conforme característica do sensor.

**Figura 6:** Esquema de aplicação do sistema de gotejamento em estrutura subterrânea de proteção simples (A) e em estrutura subterrânea de proteção contendo um controlador de gotejamento (B).

5 **Figura 7:** Dispositivo de gotejamento com vazão de água ajustada por um fluxo de ar, ou outro gás, de arraste montado em um painel no qual a válvula diferencial controla o nível ou pressão de referência da água no sistema.

**Figura 8:** Dispositivo com sete tubos de gotejamento montados em um painel, no qual a vazão de cada saída de água é ajustada pelo respectivo fluxo de ar, como no caso da Figura 7.

10 **Figura 9:** Dispositivo de gotejamento com vazão de água ajustada por fluxo de ar, ou outro gás, de arraste em montagem pressurizada, conectada a três controladores de irrigação com sensores tensão de água do solo de elemento poroso.

**Figura 10:** Gráfico de vazão de água ajustada em função do fluxo de ar no sistema de gotejamento (Fig. 1), operando com tubo de elevação e de gotejamento com diâmetro interno de 3 mm.

**Figura 11:** Gráfico de fluxo de ar e vazão de água através de um dispositivo de gotejamento (Fig. 4) operando com um gradiente de pressão de 7 cm de coluna de água e possuindo tubos de ascensão e de gotejamento com diâmetro interno de 3 mm.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

20 A presente invenção refere-se a um sistema de gotejamento com vazão de água ajustada por um fluxo de ar. O sistema é conveniente não só por possibilitar operação praticamente livre de entupimento de gotejadores, mesmo operando-se com vazões de água reduzidíssimas, como também é uma forma de aplicar ar através do tubo de gotejamento, quando houver necessidade de melhoria da aeração do solo ou de se  
25 fazer controle automático de irrigação, acionado por ar comprimido.

De acordo com a presente invenção, o sistema de gotejamento é composto dos seguintes elementos (Figura 1): reservatório de água (17), tampa (18), tubo extravasor (2), bóia (3), contentor (15), distribuidor de ar (8), restrição (9), tubo de entrada de ar (10), tubo de entrada de água (1), tubo de elevação de água e ar (12),  
30 bifurcação (13), tubo de gotejamento (14). Na Figura 1 mostra-se ainda que um controlador de pressão, tubo extravasor (2) e bóia (3), faz o ajuste do nível de água para uma pluralidade de tubos de gotejamento (14), a partir do tubo de entrada da água (1)

sob pressão. O controle da pressão da água para o nível (4) é feito mediante o fechamento do tubo extravasor (2), pela borracha da bóia (3). O reservatório de água (17), com tampa (18), possui internamente um contentor (15) para a bóia (3), no qual é fixado o tubo extravasor (2) e outros componentes. Este contentor (15) também possui orifício superior (16) para equilíbrio com a pressão atmosférica e orifício (5) na base para entrar água.

Para produzir gotejamento (Figura 1), o ar entra pelo tubo 7 no distribuidor de ar (8), tem seu fluxo controlado em uma restrição (9), passa pelo tubo de entrada de ar (10), eleva a água no tubo de entrada de água (11), que é aberto na base (6) e vai para o tubo de gotejamento (14). Uma bifurcação (13) acopla os tubos (11), (12) e (14) no sistema. Na travessia entre os tubos (11) e (14) a pressão é acomodada no tubo de elevação de água e ar (12). O tubo de elevação de água e ar (12) é fundamental para que a vazão média de água obtida não seja influenciada pela altura na qual é colocada a ponta do tubo de gotejamento (14). Este efeito é obtido graças ao fato da água se acumular no tubo de elevação de água e ar (12) para, a seguir, escoar de maneira espontânea e intervalada pela bifurcação (13) e o tubo (14). Neste escoamento intervalado, a queda rápida da água pode causar arraste adicional de ar, que é succionado através do tubo de elevação de água e ar (12) e deste modo se impede a ocorrência de sifonamento e se possibilita o transporte de ar através do tubo de gotejamento. Assim, o fluxo médio de ar que sai para o tubo de gotejamento (14) não é necessariamente igual ao fluxo de ar de entrada utilizado para ajustar a vazão do gotejamento.

É importante que o tubo de gotejamento seja sempre colocado com inclinação descendente, para que o ar e a água escoem. Também é importante que o tubo de elevação de água e ar (12) tenha diâmetro da ordem de 5 a 7 mm para que o ar possa escapar sem arrastar gotas de água, durante o intervalo de tempo em que a pressão de água aumenta até ocorrer o escoamento espontâneo.

Na Figura 2 observa-se como um compressor de ar (19), por exemplo, de membrana injeta fluxos de ar ajustados no sistema de gotejamento, mediante o uso de restrições (9). No lugar do compressor de ar pode-se utilizar também um cilindro de ar comprimido ou outro gás, como o  $N_2$ , por exemplo. O ajuste dos fluxos de ar pode ser feito em duas etapas: primeiro ajusta-se a pressão de ar em válvula de controle de

pressão de ar (20), de escape caso no caso exemplificado de uso de compressor de membrana, e a seguir determina-se o fluxo de ar em restrições padronizadas (9). Estas restrições (9) capilares de fluxo de ar podem ser de vários tipos, como por exemplo, mas não estando limitado a, preparadas com segmentos fio elétrico flexível, que contém

5 passagens de ar capilares entre os filamentos metálicos cilíndricos acomodados no interior do envoltório plástico do fio. A restrição deve, preferencialmente, ajustar o maior fluxo de ar necessário para se obter a maior vazão água no gotejador, que se deseje utilizar durante o ciclo da cultura. Deste modo, reduzindo-se a pressão de ar de trabalho na válvula de controle de pressão de ar (20), de acordo com a leitura no

10 manômetro (21), reduz-se a vazão de gotejamento para o valor que seja necessário em uma dada condição. Caso seja utilizado outro tipo de compressor, ou reservatório de ar ou gás comprimido, então, o ajuste de pressão de ar é feito e válvula de ajuste de pressão sem escape, o que não causa qualquer alteração no funcionamento do sistema.

O desligamento do gotejamento é obtido desligando-se o compressor de

15 ar (19), ou reduzindo-se a pressão na válvula de controle de pressão de ar (20). Evidentemente, a vazão de água é reduzida para zero caso a pressão de ar aplicada se torne menor que a diferença de altura entre a entrada de ar do tubo 10 e o nível da superfície da água (4), que é a pressão zero no sistema.

O ajuste da vazão de ar através de todos os tubos de entrada de ar (10),

20 simultaneamente, é obtido regulando-se a pressão do ar na válvula de controle de pressão de ar (20). As restrições (9) e o distribuidor de ar (8) são acomodados no topo do distribuidor radial de gotejamento (22) (Figuras 1, 2 e 3), ou no topo dos sistemas de gotejamento em painel (Figuras 7, 8 e 9). A localização das restrições (9) para o controle do fluxo no topo é importante para que não ocorra movimentação de água para

25 as restrições de ar (9), o que causaria de obstrução temporária à passagem do fluxo de ar.

Para uso temporizado os compressores de ar podem ser desligados diretamente por um temporizador com atuação elétrica ou mediada por válvulas solenóides. Durante o desenvolvimento das plantas a quantidade de água aplicada pode

30 ser aumentada, aumentando-se o tempo de irrigação, ou alternativamente, mediante o aumento da pressão do ar na válvula de controle de pressão de ar (20).

O sistema da Figura 1 é visto de cima na Figura 3 para evidenciar como pode ser a distribuição radial dos tubos flexíveis de gotejamento. Neste arranjo a água é tomada da tubulação principal (23) através do tubo de entrada de água (1). Tanto este arranjo radial de gotejadores, quanto o arranjo em painel (Figura 8), são formas efetivas para aplicar gotejamento a plantas individuais em pomares e jardins.

Para operação sem compressor de ar, em uma concretização um pouco mais sujeita a entupimento, o gotejador pode funcionar com a vazão de água obtida dissipando-se uma pressão de altura de coluna de água através de uma restrição (24) (Figura 4). Neste sistema com água sob pressão (1) e controle de pressão com tubo extravasor (2) e bóia (3), o ar é arrastado para o interior do tubo de gotejamento (14) assim que a água se acumula no tubo de elevação de água e ar (12) em quantidades suficientes para que esta seja acelerada em intervalos para escoamento em um processo que succiona e arrasta o ar através dos tubos 26 e 14. Nesta concretização, a altura da bifurcação (13) de saída para o tubo de gotejamento (14) é inferior ao nível da água (4), para que a pequena vazão de água seja intervalada com a introdução de ar no tubo de gotejamento. A tampa opcional (25) é para a limpeza da restrição (24), com um arame de aço. Este sistema simplificado não possibilita os controles de vazão e de fechamento pneumático da irrigação, descrito para o sistema preferido, que faz uso de compressor de ar.

#### 20 *Gotejamento conforme a umidade no solo*

Nas Figuras 5 e 6 observa-se um controlador de irrigação que é acionado pelo ar conduzido neste sistema de gotejamento. Conforme a água e o ar introduzidos pelo tubo de gotejamento (14) adentram câmara do controlador de gotejamento (32) ocorre a separação entre o ar que sobe e a água que ocupa a base. Em solo (35) úmido (Figura 6) a cápsula porosa do sensor (31) permanece em estado de impermeabilidade ao ar e deste modo o ar se acumula lentamente na câmara do controlador de gotejamento (32) até que o flutuador (27) afunde e feche o tubo de saída de água (29), pela compressão da borracha de vedação (28). Neste estado a pressão no controlador de gotejamento (32) aumenta e o gotejamento cessa. Quando na fase de secagem, a tensão da água no solo supera um valor crítico, característico do sensor, então, o ar do controlador de irrigação (32), passa pelo tubo 30 e escapa pela cápsula porosa do sensor (31) e a água acumula-se novamente fazendo com que o flutuador (27) se eleve e o

gotejamento seja retomado, até que o solo umedeça novamente. Sensores de cápsulas porosas, denominadas Irrigas, com diferentes pressões de borbulhamento, tensões críticas, estão disponíveis no mercado (BR PI 0004264), de modo que se trata, portanto, de uma nova forma de aplicar este sistema de gotejamento associado com sensores de cápsulas porosas. A diferença, nesta aplicação de controle de umidade, é que tanto o ar quanto água são introduzidos através de um único tubo, o que facilita as aplicações de campo.

Como as pressões de ar e de água induzidas pelo sistema da presente invenção no controlador de gotejamento são inferiores a 1 metro de coluna de água, então é simples demonstrar, pelas relações entre força, área da seção do tubo de saída de água (29) e pressão de entrada da água, que o peso do flutuador necessário para fechar o tubo de saída de água (29) é diminuto, podendo ser até mesmo inferior a cinco gramas. Em consequência sabe-se, portanto, que estes controladores de gotejamento (32) podem ser fabricados com dimensões miniatura, isto é com volume total de 50 mililitros e até menos. A miniaturização facilita a viabilidade econômica dos controladores, porque são mais baratos e esteticamente mais adequados para plantas em vaso e para ambientes ornamentados.

Um detalhe específico do gotejamento através do controlador de irrigação é que, neste caso, não há necessidade de uniformidade na vazão da água. Assim, nesta aplicação há uma interessante liberdade de escolha do compressor de ar, que também não precisa gerar pressão de ar estável, nem pressão de ar constante. Deste modo, podem ser utilizados em conjunto com a presente invenção, mas não estando limitado a, compressores de ar acionados por painel solar e os termostatos como os ilustrados por Calbo & Silva (Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos. Brasília: Embrapa Hortaliças, 174 p, 2005, ISBN 85-86413-07-0).

O fluxo de ar que chega ao tubo de gotejamento (14) depende do fluxo de ar introduzido pelo compressor, da quantidade de ar que é perdida através do tubo de elevação de água e ar (12) e da quantidade de ar que entra pelo tubo de elevação de água e ar (12) quando, intervaladamente, a água escoar para o tubo de gotejamento (14). Em sistemas com controlador de gotejamento (32), quando o controlador de gotejamento fecha a água acumula-se até um valor máximo no tubo de elevação de água e ar (12),

enquanto o fluxo de ar continua escapando, neste caso sem arrastar água, até que o controlador de gotejamento (32) abra-se novamente.

#### *Gotejamento subsuperficial*

Na figura 6A um gotejador aplica irrigação subsuperficial auxiliado pelo tubo de gotejamento (14) inserido em tubo de proteção (33) com perfurações (34) e dimensões arbitrárias, por exemplo, 50 mm de diâmetro por 600 mm de profundidade para um arbusto. Na figura 6B o tubo de gotejamento (14), juntamente com o controlador de gotejamento (32) fazem uso de similar tubo de proteção (33), para a irrigação. Este tubo de proteção (33) é um acessório que possibilita a aplicação da irrigação na profundidade desejada. Partículas de solo e o crescimento de raízes são causas eventuais de obstrução tubos e de gotejadores, especialmente quando se faz uso de irrigação subsuperficial. O tubo de proteção (33) com perfurações (34) é um acessório barato que pode ser dimensionado e até preparado no campo para reduzir este problema no sistema.

#### 15 *Sistema com válvula diferencial*

Na Figura 7 ilustra-se um sistema simples com vazão de água arrastada fazendo uso de uma válvula diferencial (36) para ajustar a pressão da água na entrada (1). Este sistema se diferencia do sistema ilustrado na Figura 1 pela utilização de uma válvula diferencial (36) para controlar a pressão no lugar da bóia (3), e por se tratar de uma montagem em painel que pode ser fixada em diferentes suportes com maior facilidade. Todos os demais componentes utilizados são análogos aos descritos nas Figuras 1 e 2. A diferença entre esse sistema de válvula diferencial e o sistema ilustrado nas Figuras 1 e 2 é que no início de funcionamento desse sistema a pressão ou nível da água (4) é ajustado na válvula diferencial (36) antes de ligar o compressor de ar (19). Para isto, tira-se a capa da válvula diferencial (36) e aperta-se ou folga-se a mola interna. O ajuste do fluxo de ar também é feito através de uma restrição (9). Este ar passando no tubo (10) entra no tubo (11) e eleva a água através do tubo de elevação de água e ar (12). Esta elevação da água provoca escoamento intervalado, sempre que a água se acumula em quantidade no tubo 12. O escoamento intervalado de água para gotejamento no tubo flexível (14), com arraste de ar, ocorre com passagem destes fluidos através da bifurcação (13).

O sistema de gotejamento utilizando válvula diferencial também pode ser aplicado para um painel com várias saídas para gotejamento. Na figura 8 ilustra-se um sistema de gotejamento com vazão de água arrastada por fluxo de ar montado com válvula diferencial (36) em um painel com 7 saídas para gotejamento (14) em vasos e um distribuidor de água na base (40). O sistema da Figura 8 é apenas uma ampliação prática dos mesmos componentes da Figura 7 para atender ao gotejamento de um número maior de plantas.

A estabilidade da pressão com que a água entra na válvula diferencial (36) de controle de pressão de água ou no sistema de tubo extravasor (2) e bóia (3) deve ser da ordem de 20%, ou melhor, e preferencialmente com pressão nominal de 20 a 50 kPa. Isto é importante porque os ajustes de pressões, isto é níveis de água, efetuados por estas válvulas devem ter precisão da ordem de 0,1 a 0,4 kPa. As válvulas diferenciais (36, 38) consideradas nesta invenção são similares às utilizadas para controle de pressão de gás liquefeito de petróleo, no sentido em que a pressão de saída pode ser ajustada como um diferencial em comparação com a pressão de referência aplicada sobre a sua membrana central.

O sistema também pode ser utilizado, de maneira mais precária, para operação sem compressor de ar. Neste caso, como se ilustra na Figura 4, é o gradiente de pressão de água que arrasta o fluxo de ar utilizando-se do tubo de elevação de água e ar (12), que possibilita a introdução de ar no tubo de gotejamento (14). Para operação sem compressor de ar, em uma concretização um pouco mais sujeita a entupimento, o gotejador pode funcionar com a vazão de água obtida dissipando-se uma pressão de altura de coluna de água através de uma restrição (24) (Figura 4). Neste sistema com água sob pressão (1) e controle de pressão com tubo extravasor (2) e bóia (3), o ar é arrastado para o interior do tubo de gotejamento (14) assim que a água se acumula no tubo de elevação de água e ar (12) em quantidades suficientes para que esta seja acelerada em intervalos para escoamento em um processo que succiona e arrasta o ar através dos tubos 26 e 14. Nesta concretização, a altura da bifurcação (13) de saída para o tubo de gotejamento (14) é inferior ao nível da água (4), para que a pequena vazão de água seja intervalada com a introdução de ar no tubo de gotejamento. A tampa opcional (25) é para a limpeza da restrição (24), com um arame de aço. Este sistema simplificado não possibilita os controles de vazão e de fechamento pneumático da irrigação, descrito

para o sistema preferido, que faz uso de ar comprimido por compressor de ar ou cilindro de ar ou outro gás comprimido.

### *Sistema pressurizado*

5 O gotejamento com vazão de água controlada por fluxo de ar em sistema pressurizado, como ilustrado na Figura 9 é mais complexo e só possibilita a utilização de um tubo de gotejamento, por válvula diferencial (36) de controle de pressão de água. Deste modo, sistemas pressurizados como o ilustrado na Figura 9, preferencialmente, devem ser acoplados a um ou mais controladores de gotejamento (32) ligados ao longo do comprimento do tubo de gotejamento (14), para irrigar várias plantas ou vasos (37).

10 O sistema pressurizado também pode ser montado com bóia (3) fazendo uso de reservatório hermético, que não deixa o ar escapar, e de válvula de segurança. Esta opção, no entanto, não é ilustrada, porque se trata de um sistema mais difícil de montar e porque requer mais cuidados.

15 O sistema pressurizado ilustrado na Figura 9 faz uso de compressor (19), e de controlador de pressão de ar para a introdução de fluxo de ar controlado através de uma restrição (9). Uma válvula diferencial (36) de controle da vazão da água ajusta a pressão diretamente no tubo de entrada de água (11) de acordo com a pressurização gasosa que atua sobre a sua referência. A pressurização gasosa da referência é aplicada mediante o uso da restrição (39), que recebe ar de pressão controlada da válvula diferencial de controle de pressão de ar (38). A válvula diferencial de controle de pressão de ar (38) também é conectada (41) hermeticamente ao topo do tubo de elevação de água e ar (12). A pressão total da água na saída da válvula diferencial (36) é igual à pressão ajustada na sua mola interna, somada à pressão de ar ajustada na válvula diferencial de controle da pressão do ar (38). A água escoava intervaladamente para o tubo de gotejamento (14), fazendo uso do tubo de elevação de água e ar (12) como meio de acomodação da pressão de água da mesma forma que já foi explicado para o dispositivo da Figuras 1, 7 e 8. A diferença no sistema pressurizado da Figura 9 é que a obstrução da passagem de água no tubo de gotejamento causa aumento de pressão gasosa no tubo de elevação de água e ar (12), onde a pressão com o sistema fechado se aproxima da pressão na válvula de controle de pressão de ar (20), que é lida no manômetro (21). Esta resposta é o que ocorre, por exemplo, quando o escoamento de água nos controladores de irrigação (32) é fechado.

20

25

30

A qualidade do sistema pressurizado é possibilitar a movimentação do ar e da água no tubo de gotejamento (14) com maior pressão. Esta pressão adicional é valiosa caso seja difícil de posicionar o tubo de gotejamento em trajetória descendente com inclinação suficiente para que a água e o ar escoem sem restrições. Esta pressão adicional, portanto, contribui para que o movimento da água supere eventuais “barrigas” ao longo do tubo de gotejamento (14).

Como defeito, o sistema pressurizado seria oneroso para irrigar apenas uma planta. Deste modo, o sistema pressurizado é mais interessante acoplando-se uma pluralidade de reguladores de irrigação ao longo do tubo de gotejamento (14), conforme ilustrado na Figura 9.

Outra qualidade deste sistema pressurizado é aplicar irrigação por gotejamento em tensão de água regulada na válvula de controle de pressão de ar (20). Assim, por exemplo, com sensores de cápsula porosa miniatura Irrigas de 15 kPa, disponíveis comercialmente, pode-se aplicar gotejamento em tensões de água que variam de 5 kPa a 10 kPa, de maneira segura. A equação utilizada no sistema conforme a PI 0004264 é:  $T = P_b - p$ , onde  $T$  é a tensão da água no solo,  $P_b$  é a pressão de borbulhamento do elemento poroso e  $p$  é a pressão de ar aplicada.

Por uma questão de segurança, devido à variabilidade dos sensores de cápsula porosa, disponíveis comercialmente, e pelo fato de que as pressões para iniciar borbulhamento serem maiores que as pressões para cessar o borbulhamento, então convém usar pressões de ar  $p$  tal que  $p < 0,6 \times P_b$ .

Os reguladores de pressão diferencial, válvulas diferenciais (36) e (38), devem preferencialmente ter comportamento similar ao dos controladores utilizados para controle de vazão de GLP no sentido em que possibilitam ajustes finos e estáveis de pressão de 5 cm a 300 cm de coluna de água, por ajuste da pressão em mola. Na válvula diferencial (36) a mola fica escondida, pelo rosqueamento e vedação da entrada de ar na referência. Na válvula (38), o ajuste da pressão da mola pode ficar a vista, para facilitar os ajustes conforme leitura em manômetro (21).

#### *Ajustes no sistema*

Nos sistemas ilustrados nas Figuras 1, 7, 8 e 9 a altura de ascensão da água medida com relação à superfície ou nível da água (4) deve ser menor que a distância entre o orifício (6) na base do tubo (11) e a inserção do tubo de entrada de ar

(10), de onde a água escoar em nível através da bifurcação (13), para o tubo de gotejamento (14). Esta condição assegura que o ar pode elevar a água através do tubo (11), sem a ocorrência de borbulhamento de ar no orifício (6) do tubo (11).

5 Sob o ponto de vista de vazão de água o diâmetro dos tubos e o tipo de conexão entre os tubos (10) e (11) são relevantes. O tubo (11) deve possuir diâmetro da ordem de 2 a 4 mm, na medida em que diâmetros menores restringem a passagem de água e com diâmetros maiores o sistema pode deixar de funcionar, devido à perda de estabilidade, no sentido em que o ar sobe através da água do tubo sem levá-la acima da bifurcação (13).

10 O tubo de elevação de água e ar (12) deve possuir diâmetro da ordem de 5 a 7 mm, e altura suficiente para reter água e possibilitar a elevação do ar através da água que se mantém retida no tubo (12). Após suficiente acúmulo de água, o tubo de elevação de água e ar (12) evita o sifonamento de água, porque deixa o ar entrar livremente no tubo de gotejamento (14), enquanto a água escoar espontaneamente através da bifurcação (13) e por meio do tubo de gotejamento (14) sem formar vácuo parcial suficiente para causar sifonamento.

15 Experimentalmente, o efeito de diminuir o gradiente de pressão de água, entre o nível da água (4) e a saída da bifurcação (13), na faixa de 80 mm para 20 mm é modesto. Assim, uma elevação de 50 a 80 mm é uma segurança contra pequenos desvios no ajuste da pressão da água, seja em bóia (3), seja em válvula diferencial (36). O erro no ajuste de pressão da água nestes acessórios (3, 36), preferencialmente deve ser menor que 10 mm. Caso as variações sejam maiores, então é importante ajustar a pressão de água de entrada no sistema. Isto é feito utilizando-se água proveniente de uma caixa de água, ou então uma válvula para controle de pressão na linha. Uma  
25 válvula de 20 kPa seria adequada.

#### *Aspectos físicos*

De acordo com o exposto o sistema de gotejamento da presente invenção é muito menos influenciado pela temperatura do que outros gotejadores, porque seu funcionamento depende mais da tensão superficial da água e da viscosidade do ar do que da viscosidade da água que é a variável física mais importante relacionando  
30 temperatura e vazão em outros tipos de gotejadores. O sistema tem ainda a qualidade de

aplicar vazão de água e fluxo de ar simultaneamente em um único tubo para aplicações de irrigação por gotejamento e para o arejamento do solo.

O termo água utilizado na presente invenção diz respeito à água, soluções, e outros líquidos com tensão superficial preferencialmente maior que 0,030 N/m. No presente sistema de irrigação existe a possibilidade de uma irrigação apenas com água e também com a aplicação de nutrientes através de soluções e suspensões (fertirrigação).

De acordo com a presente invenção, água e soluções referem-se: a) Água, fluido sem impurezas que por suas dimensões ou por sua capacidade de aglomeração possam causar obstrução dos tubos 11, 13, 14 ou 29. Na prática agrícola a eliminação destas impurezas envolve, em geral, o uso de filtros, de areia, por exemplo; b) Soluções com nutrientes minerais, denominadas soluções nutritivas, que contém elementos minerais essenciais, como nitrogênio e potássio, que promovem o desenvolvimento das plantas. Estas soluções são usualmente preparadas pela dissolução de sais solúveis em água; suspensões referem-se a suspensões relativamente estáveis e que não formem agregados que possam obstruir os tubos.

Um cuidado com os tubos de gotejadores desta invenção é evitar que a concavidade, “barriga”, no tubo flexível exceda a metade da altura de coluna de água total do sistema. Para isto, tubos de gotejamento (14), com no máximo 3 metros de comprimento, devem ser dispostos, preferencialmente, na descendente. A ponta do tubo de gotejamento pode, para isto, ser fixada para alinhar o tubo e facilitar a vazão. O uso de sistemas pressurizados e a instalação dos distribuidores, painel, por exemplo, instalados a cerca de um metro acima do nível do solo ou da mesa com vasos auxilia no bom funcionamento destes sistemas. Neste sentido também é importante frisar que com o uso de controladores de gotejamento a altura de instalação dos distribuidores de gotejamento, torna-se mais crítica, sem estes dispositivos não há problema algum de que estes dispositivos sejam instalados em altura maior que 1,0 m. Com o uso de controladores de gotejamento a pressão adicional dada precisa ser descontada conforme o uso da fórmula tratada com sistemas pressurizados da Figura 9.

Para funcionamento correto, é importante conferir a pressão de ar no manômetro (21). O desligamento acidental do compressor de ar (19) reduz a pressão de

ar e desliga a irrigação. Assim, a manutenção da pressão ajustada é um indicativo de que o sistema está aplicando a vazão de água correta.

O arraste de água por um fluxo de ar neste sistema é um fenômeno que depende da temperatura mediante sua influência modesta em aumentar a viscosidade dos gases, ar, em diminuir a tensão superficial da água e que também é influenciado pelo efeito mais forte do aumento da temperatura para reduzir a viscosidade da água. Assim, entre zero e 40 °C a viscosidade da água diminui quase três vezes, passando de 0,018 poise a zero Celsius para 0,0065 poise a 40 °C, enquanto que na mesma faixa de temperatura a tensão superficial da água é reduzida em apenas 8%. Paralelamente, e mais importantemente, a viscosidade dos gases, ar, é proporcional a raiz da temperatura absoluta, de modo que esta viscosidade aumenta em cerca de 7%, ao invés de diminuir, na faixa de temperaturas considerada. A influência destas três propriedades no sistema da presente invenção é ponderada, com dominância, no entanto para o efeito da temperatura sobre o fluxo de ar através das restrições (9) e (39), que é mediado pelo aumento da viscosidade do ar em função da temperatura. Por outro lado, o arraste da água nos tubos (11, 12 e 14) depende do trabalho necessário para movimentar água e bolhas de ar de acordo com tensão superficial da água, a viscosidade da água, o molhamento do tubo e do diâmetro do tubo utilizado, no caso ao redor de 3 mm. Assim, em função do papel dominante que o fluxo de ar e da tensão superficial da água, o sistema desta invenção possui vazão de água influenciada por temperatura de maneira diferente da que ocorre em outros gotejadores, cuja vazão é controlada de acordo com restrições nas quais apenas a viscosidade da água é, em geral, a propriedade mais influenciada pela temperatura.

Outro aspecto físico em gotejamento é a molhabilidade do meio. Assim, atualmente, solos, em função da poluição, e os substratos, por seus componentes orgânicos, possuem partículas revestidas de substâncias hidrofóbicas que dificultam a retenção de água. Para irrigar adequadamente, nestes casos, a disponibilidade de um sistema de gotejamento como o da presente invenção que possibilita a aplicação de vazões muito reduzidas é importante. Aplicado sob vazões suficientemente reduzidas o gotejamento, mesmo nestes meios possibilita o desenvolvimento de um bulbo de molhamento que possa se aproximar de esférico, menos alongado, no solo, ou que possa umedecer todo o substrato de vasos. Este molhamento é fundamenta porque possibilita

às raízes das plantas explorarem mais adequadamente o meio de onde retira água e nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento.

#### *Exemplos de uso*

5 Seguem alguns exemplos de emprego do sistema de irrigação por gotejamento da presente invenção. Esses exemplos representam uma forma de elucidar melhor o funcionamento do sistema e não limitam a presente invenção.

#### *Ensaio de vazão de água induzida por fluxo de ar*

10 Na Figura 10 ilustra-se a variação típica da vazão da água em função do fluxo de ar aplicado no gotejador desta invenção. No caso deste ensaio, o ar entrou 50 mm abaixo do nível da água (4) que foi elevada para 50 mm acima deste nível para a introdução no tubo de gotejamento (14). O tubo de gotejamento em PVC flexível de cor preta teve comprimento de 1,0 metro, diâmetro interno de 3,0 mm e foi acomodado com diferença de altura de 250 mm com relação ao nível da água (4), para o ensaio. Na Figura 10, verifica-se que a vazão da água, inicialmente, aumenta de maneira linear com  
15 a vazão de ar, de acordo com uma declividade de aproximadamente 0,5. Conseqüentemente é simples ajustar-se vazões tão baixas quanto 5 mililitros por hora, caso sejam utilizados restrições capilares (9) que possibilitem, por exemplo, um fluxo de ar de 100 mililitros por hora fazendo uso de uma pressão de ar de 20 kPa à saída do compressor de ar (19). A relação entre o fluxo de ar e a pressão aplicada através da  
20 restrição (9) é dada pela equação de Poiseuille modificada para gases (MOORE, W.J. Physical chemistry. New Jersey: Prentice-Hall, 1972. 977 p.). Para pequenas diferenças de pressão, no entanto, pode-se fazer a aproximação linear, desprezando-se a compressibilidade deste fluido. Assim, reduzindo-se a pressão de 20 para 1 kPa o fluxo de ar é reduzido de 100 mililitros por hora para 5 mililitros por hora, e de acordo com a  
25 Figura 10 este fluxo de ar determinaria uma vazão de água da ordem de 2,5 mililitros por hora. Um detalhe relevante, neste caso, é que da pressão de ar aplicada deve-se descontar a diferença do nível da inserção do tubo de entrada de ar 10 no tubo 11, isto com referência ao nível da superfície da água (4).

30 A vazão máxima de água ilustrada na Figura 10 não é elevada, em comparação com valores típicos de gotejadores comerciais, que usualmente possuem vazões entre 0,5 e 4,0 litros por hora. Vazões de gotejamento reduzidas, no entanto, são um dos aspectos valiosos do presente sistema, visto que as vazões aplicadas não devem

causar assoreamento do solo, lixiviação de nutrientes para abaixo da profundidade das raízes ou provocar a manutenção de substanciais volumes de solo encharcado ao redor da saída do gotejador. No último caso o sistema proposto ainda ajuda porque força a introdução de ar juntamente com a água.

5 *Fluxo de ar arrastado por vazão de água*

Na Figura 11 mostra-se a experimentação do sistema sem a utilização do compressor (ilustrado na Figura 4). Nessa experimentação verifica-se que o ajuste da vazão de água, do sistema da Figura 4, é facilmente efetuado mediante a definição do gradiente ou coluna de pressão de água. Mais interessante ainda é que o fluxo de ar, assim como a vazão da água, também foi controlado pelo gradiente de pressão de água aplicado, isto sem efeito de saturação dentro da faixa de gradientes de coluna de água estudada. Na experimentação do sistema, o gotejamento ocorreu através de um tubo de plástico de 1,0 metro de comprimento, com diâmetro interno de 3,0 mm e com a saída colocada 250 mm abaixo da inserção do tubo de elevação de água (12), o que simula uma situação menos favorável que a instalação com o sistema colocado a uma altura maior, por exemplo, de um metro. Ainda assim, deve-se ter em mente que o fluxo de ar no sistema de ar arrastado por água é controlado menos rigorosamente do que a vazão da água que arrasta o ar, visto que, no campo, a altura das saídas dos gotejadores é irregular.

### REIVINDICAÇÕES

01. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento caracterizado por ter a vazão de água ajustada por fluxo de ar.
02. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento caracterizado por possuir  
 5 compressor de ar (19); reservatório de água (17); tampa (18); tubo extravasor (2); bóia (3); contentor (15) contendo orifício na região superior (16); distribuidor de ar (8); restrição (9); tubo de entrada de ar (10); tubo de entrada de entrada de água (11); tubo de elevação de água e ar (12); bifurcação (13) fazendo a ligação dos tubos de elevação de água e ar (12), tubo de entrada de água (11) e tubo de gotejamento (14).
- 10 03. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com as reivindicações 1 e 2 caracterizado por compreender as seguintes etapas:
- a) entrada de água (6) pelo tubo de entrada de água (11) e nível da água (4) ajustado pelo controlador de pressão da água com tubo extravasor (2) e bóia (3);
  - 15 b) entrada de ar do compressor de ar (19) por uma válvula de controle de pressão de ar (20) e tubo (7) até o distribuidor de ar (8) de onde o fluxo de ar é controlado através de restrições padronizadas (9) e conduzido pelo tubo (10);
  - c) passagem do ar pelo tubo de entrada de ar (10) elevando a água no tubo de  
 20 entrada de água (11) aberto na base (6);
  - d) na travessia entre os tubos de entrada de água (11) e o tubo de gotejamento (14), pela bifurcação (13), colocada acima do nível controlado da água (4), a pressão excedente é acomodada no tubo de elevação de água e ar (12), de onde parte do ar escapa para a atmosfera;
  - 25 e) a partir do tubo de elevação (12) água e ar são empurrados através da bifurcação (13), para o tubo de gotejamento (14).
04. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com a reivindicação 3 caracterizado pelo fato do controle do fluxo de ar ser feito através das etapas de:
- 30 a) ajuste da pressão de ar ou gás proveniente de compressor (19) de ar ou cilindro de ar comprimido ou outro gás, em válvula de controle de pressão (20);
  - b) determinação do fluxo de ar em restrições padronizadas (9);

c) escoamento descendente da água através do tubo de gotejamento (14), a partir do sistema instalado de modo que o nível de água (4) esteja, preferencialmente, a um metro, ou mais, acima do nível do solo ou acima do nível dos vasos a serem irrigados.

- 5 05. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com as reivindicações 1, 2 e 3 caracterizado por controlar a vazão de água, líquidos e soluções nutritivas, com suficiente tensão superficial para que seja elevada através dos tubos 11 e 12 por fluxo ajustado de ar.
06. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com as  
10 reivindicações 1, 2 e 3 caracterizado pelo fato de que os tubos de entrada de líquido (11) e de gotejamento (14) possuem diâmetro interno de 2 a 4 mm,.
07. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com as reivindicações 2 e 3 caracterizado pelo fato de que o tubo de elevação de água e ar (12) com diâmetro da ordem de 5 a 7 mm possibilitar a acumulação de pressão de água  
15 enquanto parte do ar flui através da água no tubo.
08. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com as reivindicações 1, 2 e 3 caracterizado pelo fato de que o ajuste da vazão e o desligamento do gotejamento pode ser obtido reduzindo-se a pressão na válvula de controle de pressão de ar (20) ou desligando-se o compressor de ar (19).
- 20 09. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com a reivindicação 1, 2 e 3 caracterizado pelo fato da regulação da pressão da água poder ser feita em uma válvula diferencial (36), ao invés de bóia (3).
10. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com a reivindicação 9 caracterizado pelo fato de poder ser montado na forma de painel com um distribuidor  
25 de água na base (40) e várias saídas para gotejamento (14).
11. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com as reivindicações 1 a 10 caracterizado por conduzir ar e água em tubo de gotejamento único (14) ao qual se pode ligar um controlador de gotejamento (32) que usa ar introduzido juntamente com a água para fechar a saída de água no manejo de irrigação,  
30 de acordo com a resposta de sensores de cápsula porosa (31) que se tornam permeáveis ao ar conforme o solo seca acima de uma tensão crítica característica do sensor.
12. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com a reivindicação

9 caracterizado pelo fato do gotejamento ter a vazão de água controlada por fluxo de ar em sistema pressurizado para possibilitar a movimentação do ar e da água mesmo através de pequenas elevações de nível ao longo do tubo de gotejamento (14).

5 13. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com a reivindicação 12 caracterizado por poder utilizar um tubo de gotejamento com pressão de saída ajustada em regulador diferencial de pressão de água (36), mediante pressão de ar de referência produzida em válvula diferencial de ar (38) em sistema pressurizado.

10 14. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com a reivindicação 13 caracterizado por possibilitar a ligação de controladores de gotejamento (32) ligados em série ao único tubo de gotejamento, que alimenta estes controladores de irrigação com água e ar provendo controle de irrigação de acordo com a tensão da água no solo.

15. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 14 caracterizado por compreender as seguintes etapas:

15 a) o compressor de ar (19) introduz fluxo de ar controlado através de uma restrição (9);

b) uma válvula diferencial (36) de controle da vazão da água ajusta a pressão diretamente no tubo de entrada de água (11) de acordo com a pressurização gasosa que atua sobre a sua referência;

20 c) a pressurização gasosa da referência é aplicada mediante o uso da restrição (39) que recebe ar em pressão diferencialmente controlada da válvula diferencial de controle de pressão de ar (38) alimentada pelo compressor de ar (19);

d) a válvula diferencial de controle de pressão de ar (38) também é conectada hermeticamente ao topo do tubo de elevação de água e ar (12), para ajuste do diferencial de pressão de ar;

25 e) a pressão total da água na saída da válvula diferencial (36) é igual à pressão ajustada na sua mola interna somada à pressão de ar ajustada na válvula diferencial de controle da pressão do ar (38);

30 f) usado com controlador de irrigação, o gotejamento é fechado quando o acúmulo de ar na câmara do controlador de gotejamento (32) faz com que o flutuador (27) repouse sobre o tubo de saída de água (29).

16. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 15 caracterizado pelo fato de possibilitar o uso em combinação

com um aplicador subsuperficial.

17. Sistema de gotejamento para irrigação e arejamento de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 16 caracterizado pelo fato dos gotejadores poderem ser dispostos em variados arranjos que incluem disposição radial e em painel.

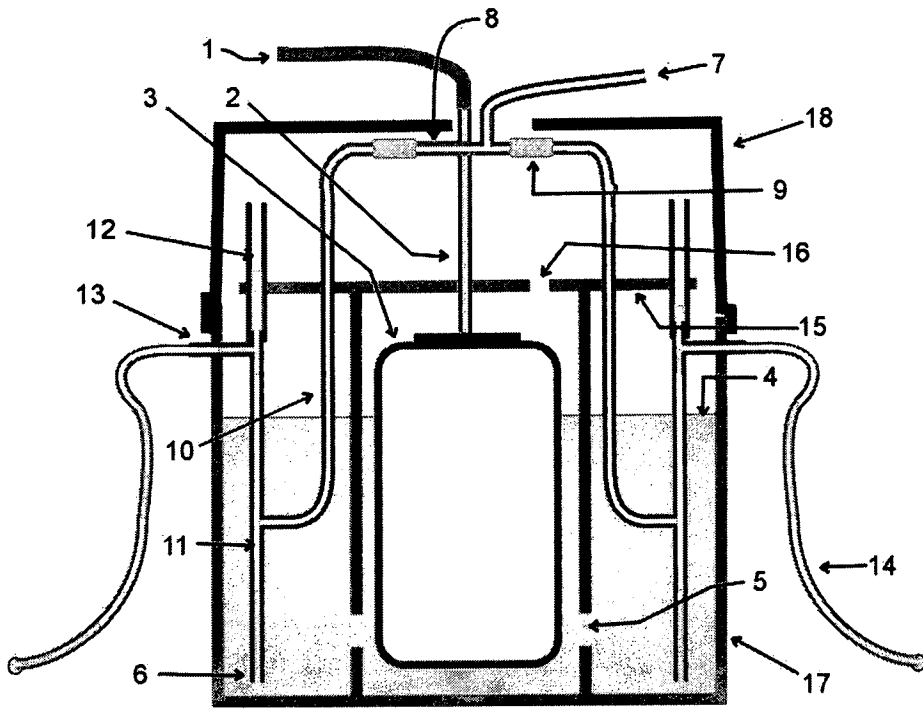


Fig. 1

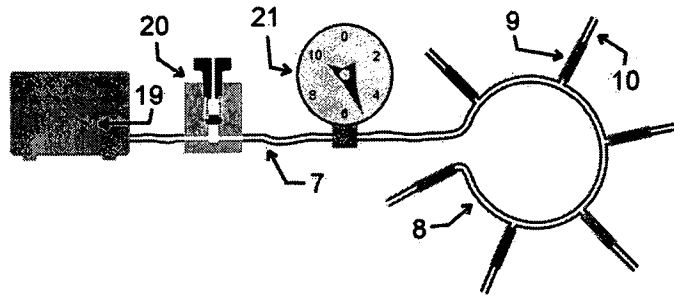


Fig. 2

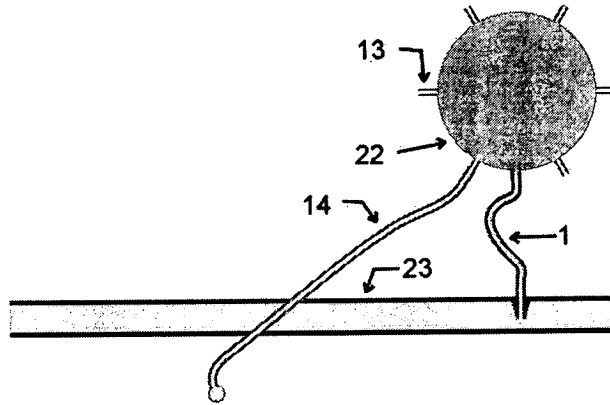


Fig. 3

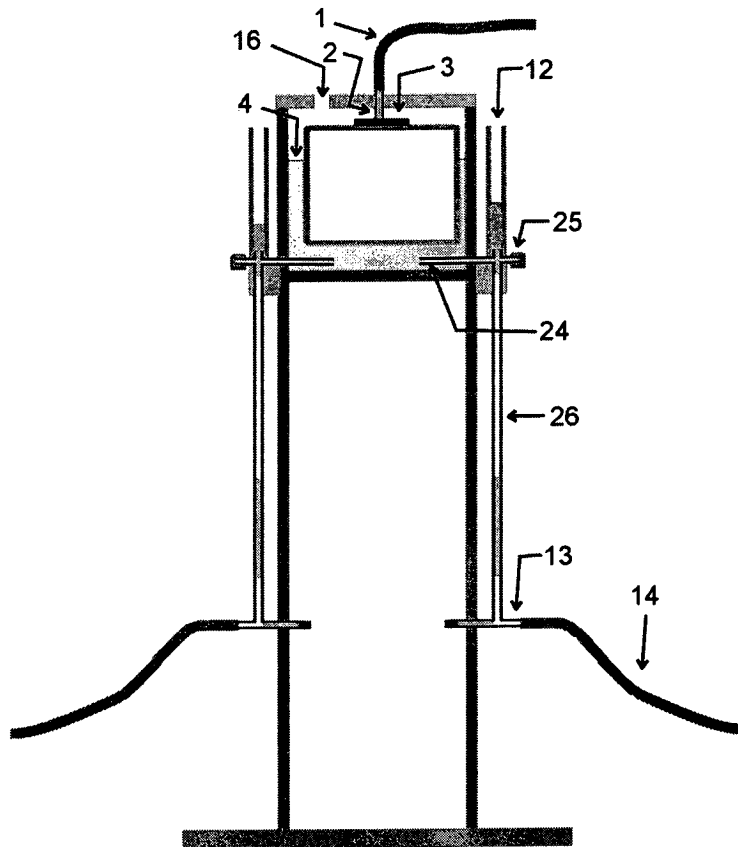


Fig. 4

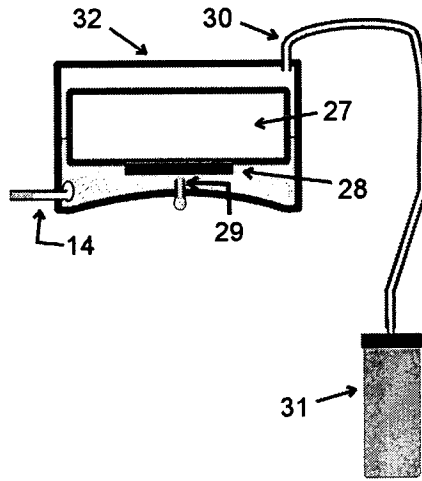


Fig. 5

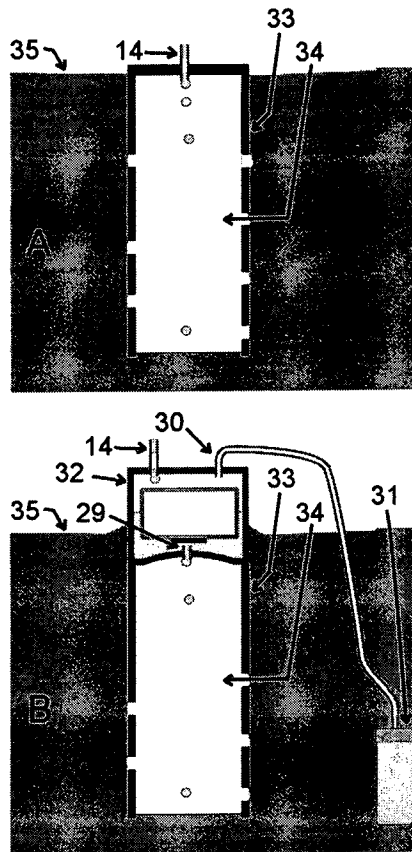


Fig. 6

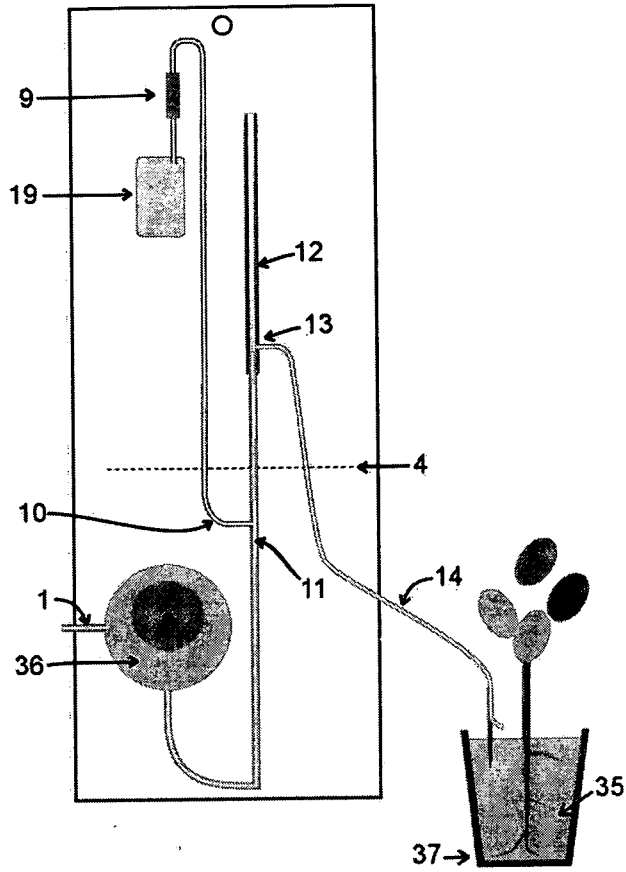


Fig. 7

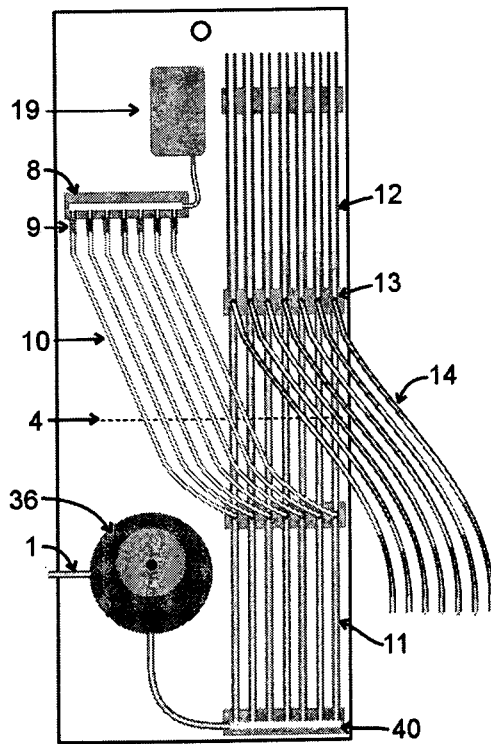


Fig. 8

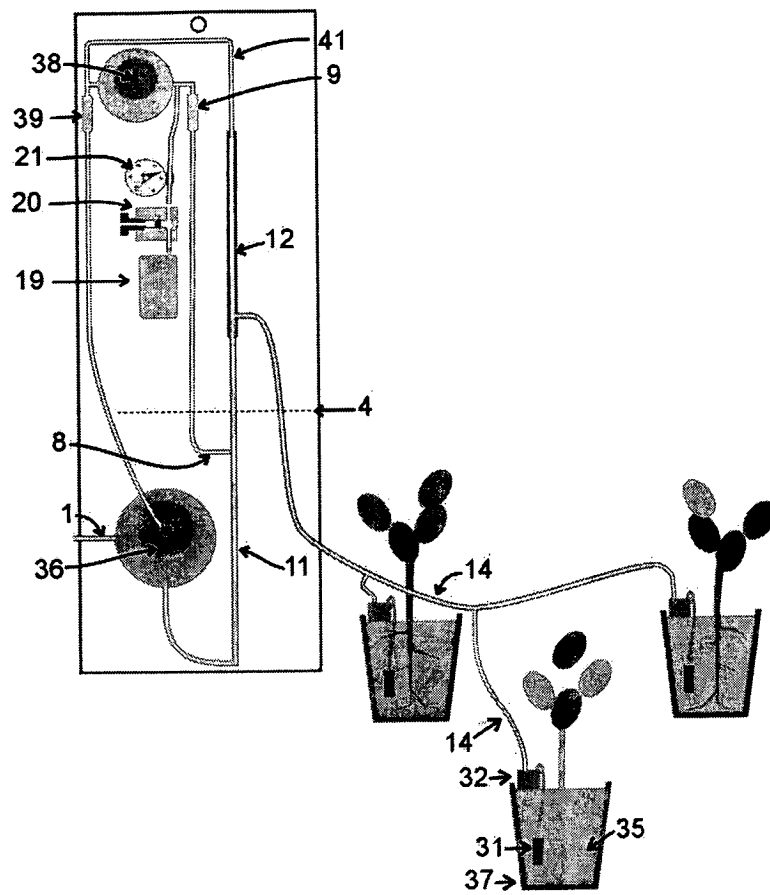


Fig. 9

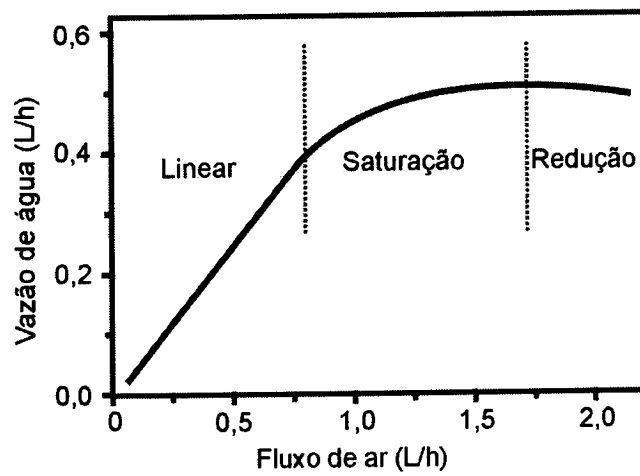
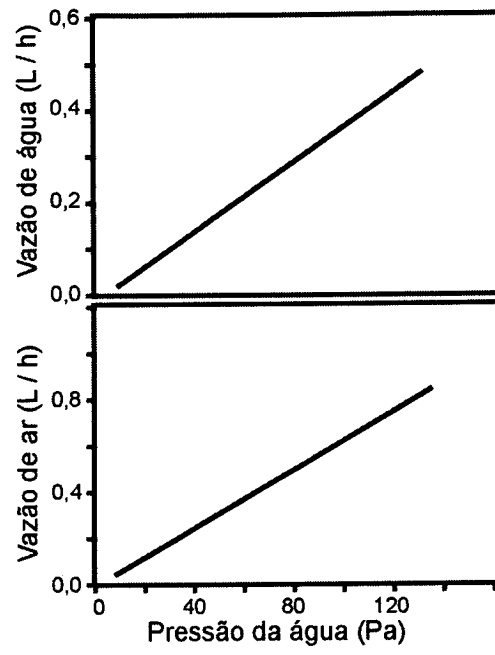


Fig. 10

**Fig. 11**

**RESUMO****“SISTEMA DE GOTEJAMENTO PARA IRRIGAÇÃO E AREJAMENTO COM VAZÃO AJUSTADA POR FLUXO DE AR”.**

A presente invenção refere-se a um sistema de gotejamento com vazão de  
5 água ajustada por um fluxo de ar, que eleva a água por um tubo de entrada de água (11)  
e depois distribui água e ar juntamente por gravidade. O fluxo de ar é introduzido acima  
da metade da altura de coluna água em um tubo de entrada de água (11). A bifurcação  
(13) para a saída de água e ar, acima do nível da água (4), é ligada ao tubo de elevação  
de água e ar (12) para acumular água e promover o escoamento intervalado de água e ar  
10 pelo tubo de gotejamento (14). Assim, a vazão de água é definida através do fluxo de ar  
controlado mediante ajuste de pressão de ar (20). Por não envolver tubos com diâmetro  
aproximado de 3 mm é um sistema pouco susceptível a entupimento que possibilita  
ajuste de vazão de água entre  $1,0 \text{ mL.h}^{-1}$  e  $1000 \text{ mL.h}^{-1}$ . O ajuste de vazão e o  
desligamento neste sistema são pneumáticos. Também é um sistema compatível com  
15 controladores de gotejamento de acordo com cápsulas porosas que se tornam  
permeáveis ao ar em solo seco.