



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

(21) PI 0815593-3 A2



(22) Data de Depósito: 05/05/2008
(43) Data da Publicação: 23/09/2014
(RPI 2281)

(51) Int.Cl.:
A01G 25/16

(54) Título: TENSÍMETRO PARA USO NA DETERMINAÇÃO DE POTENCIAL CAPILAR DE UM SOLO.

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 20/08/2007 US 60/935571

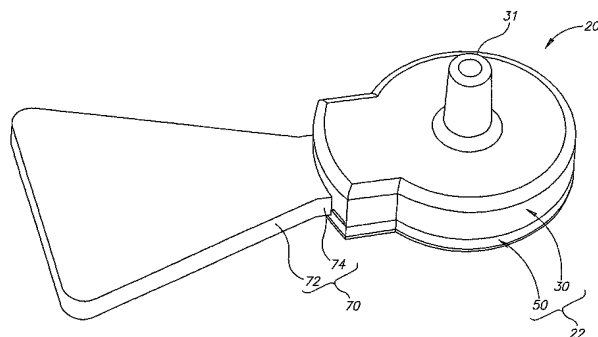
(73) Titular(es): Netafim Ltd., Yissum Research Development Company of the Hebrew University of Jerusalem

(72) Inventor(es): Abraham Schweitzer, Uri Shani

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & Cia.

(86) Pedido Internacional: PCT IL2008001069 de 05/05/2008

(87) Publicação Internacional: WO 2009/024962de 26/02/2009



“TENSIÔMETRO PARA USO NA DETERMINAÇÃO DE POTENCIAL CAPILAR DE UM SOLO”

PEDIDOS RELACIONADOS

As reivindicações do presente pedido o benefício sob 35 USC 119(e) de Pedido Provisório US 60/935.571 depositado em 20 de Agosto, 2007, a descrição do qual está incorporada aqui por referência.

CAMPO

A invenção refere-se a sistemas e aparelhos para controlar sistemas de irrigação.

10 FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Sistemas de irrigação que fornecem água, que frequentemente contêm nutrientes de plantas, pesticidas e/ou medicamentos, para plantas através de redes de tubos de irrigação são muito bem conhecidos. Em alguns sistemas de irrigação, sprinklers externos, emissores ou gotejadores, são conectados aos tubos de irrigação para desviar água a partir dos tubos e fornecer a água a plantas. Em muitas de tais redes de irrigação, água a partir dos tubos é fornecida para as plantas por emissores ou gotejadores que são instalados sobre ou "integrados" dentro dos tubos de irrigação. Por conveniência, qualquer dos vários tipos de dispositivos usados em um sistema de irrigação para desviar água a partir de um tubo de irrigação no sistema e fornecer a água desviada para as plantas é genericamente referido como um emissor. O espaçamento entre emissores, e características de emissor são frequentemente configuradas para responder a diferentes necessidades de irrigação de plantas em que o sistema de irrigação é usado para irrigar.

25 Para uma dada configuração de tubos de irrigação e emissores, quantidades de água fornecidas pelo sistema de irrigação podem ser controladas pelo controle de qualquer dos vários dispositivos de controle de escoamento de água, tais como bombas de água, válvulas de escoamento e válvulas de retenção, e/ou combinações de dispositivos de controle de

escoamento conhecidos na arte. Os dispositivos de controle de escoamento podem operar para controlar a água a partir de uma fonte que provê água para todos dos, ou uma porção dos tubos de irrigação em um sistema de irrigação ou para controlar água a partir de emissores individuais no sistema de irrigação.

O pedido de patente Israelense 177552 intitulado "Irrigation Pipe" depositado em 17 de agosto de 2006, cuja exposição é incorporada aqui para referência, descreve um sistema de irrigação que tem tubos de irrigação compreendendo emissores integrados tendo diferentes limites da pressão nos quais eles abrem para fornecer água a partir dos tubos. O fato de que os emissores se abrem para fornecer água, é controlado pela alteração da pressão nos tubos de irrigação. A Patente US 5.113.888, "Pncumatic Moisture Sensitive Valve", cuja exposição é incorporada aqui para referência, descreve um dispositivo de pulverização tendo sua própria válvula que é aberta e fechada para controlar quantidades de água que o dispositivo pulveriza sobre as plantas.

Vários métodos e sistemas automáticos e/ou manuais são usados para determinar quando e quanta água deve ser fornecida às plantas irrigadas por um sistema de irrigação e para controlar os dispositivos de escoamento de água no sistema correspondentemente. A Patente US 5.113.888 notada acima controla a válvula de escoamento de água no dispositivo de pulverização descrito na patente, em resposta à umidade do solo. O dispositivo de pulverização compreende um elemento posicionado no solo que tem poros, os quais são bloqueados quando a umidade de água do solo está acima de uma quantidade predeterminada e que são abertos quando a umidade do solo está abaixo de uma quantidade predeterminada. Quando os poros são abertos, ar é liberado da câmara na válvula, aliviando A pressão que mantém a válvula de escoamento fechada para permitir que a válvula se abra e água escoe e seja pulverizada a partir do dispositivo de pulverização. A

patente US 6.978.794, cuja exposição é incorporada aqui para referência, descreve o controle de um sistema de irrigação responsivo à umidade do solo determinada por pelo menos um sensor de reflectometria de tempo ("TDRS") posicionado no solo. A patente descreve o uso de múltiplos TDRS's em uma
5 diferente profundidade de solo para prover medições de teor de umidade do solo. A US 6.314.340, cuja exposição é incorporada aqui para referência, descreve o controle de água responsivo a altas e baixas temperaturas diurnas.

Para quaisquer aplicações agrícolas e científicas, o potencial capilar de água do solo é usado como uma medida de teor de umidade do solo e adequabilidade das condições do solo para crescimento de planta e os
10 sistemas de irrigação são frequentemente controlados responsivos a medições de potencial capilar do solo. O potencial capilar da água, convencionalmente representado por " ψ ", é uma medida de quão fortemente matéria de solo particulada atrai água para aderir às superfícies particuladas. Quanto mais
15 seco o solo, tanto mais fortes são as forças com as quais partículas de solo se atraem e retém a água em suas superfícies e tanto maior é o potencial capilar de água. À medida que potencial capilar de um solo aumenta, tanto mais difícil é para as plantas extraírem água do solo. Quando o solo se torna tão seco que as plantas não podem extrair água do solo, a transpiração das plantas
20 pára e as plantas morrem.

Potencial capilar tem unidades da pressão, é tipicamente negativo, e é convencionalmente medido usando um tensiômetro. Um tensiômetro usualmente compreende um material poroso que é conectado por uma vedação impermeável a ar a um reservatório vedado cheio com água. O
25 material poroso é colocado em contato com o solo, cujo potencial capilar, e assim teor de umidade, deve ser determinado e funções para acoplar o reservatório ao solo para permitir que água, mas não ar, passe entre o reservatório e o solo. As forças que atraem água às partículas de solo puxam água através do material poroso a partir do reservatório e geram um vácuo no

reservatório. Quanto mais seco o solo, tanto maiores são as forças que puxam água a partir do reservatório através do material poroso e tanto maior é o vácuo, isto é, uma pressão do vácuo diminui. À medida que a umidade do solo aumenta, as forças que atraem água às partículas de solo diminuem e
5 água é extraída do solo através do material poroso para dentro do reservatório e uma pressão do vácuo aumenta. O vácuo aumenta (A pressão diminui) ou diminui (A pressão aumenta) quando o teor de água do solo respectivamente diminui ou aumenta. Um monitor da pressão apropriado é usado para determinar uma pressão do vácuo e prover assim uma medida do potencial
10 capilar do solo.

O material poroso em um tensiômetro é usualmente uma cerâmica e é frequentemente formado tendo um formato similar a taça ou similar a tubo de teste. Todavia, a Patente 4.068.525, cuja exposição é incorporada aqui para referência, nota que o material poroso "pode ser
15 formado a partir de qualquer de uma ampla variedade de materiais, incluindo cerâmicas, a única exigência sendo que a 'A pressão de borbulhamento', uma pressão abaixo da qual ar não passará através dos poros do material umedecidos, deve ser maior que uma pressão atmosférica normal, para impedir que bolhas de ar entrem no instrumento. É notado que a pressão de
20 borbulhamento é geralmente mantida somente quando o material poroso está saturado com água.

Adicionalmente, o material poroso deve prover bom contato hidráulico entre os solos e o reservatório de água. A última restrição com respeito ao contato com o solo geralmente requer que o material poroso esteja
25 em contato mecânico relativamente íntimo com as partículas de solo. Enquanto que tal contato pode usualmente ser provido por uma superfície de uma cerâmica, para solos grossos ou cascalhos, tal contato hidráulico mecânico e resultante pode ser difícil de ser obtido usando um material cerâmico. Gee et al., em um artigo intitulado "A Wick Tensiometer para

measure low tensions em coarse soils"; solo Sci Soc. Am. J. 54:1498-1500 (1990) descreve um tensiômetro para uso em solos grossos nos quais o material poroso "é construído de papel toalha ou outro material de enrolamento apropriado, enrolado apertadamente em um cilindro ($\sim 0,7$ cm em diâmetro e ~ 7 cm de comprimento)". Os autores notaram que o material de enrolamento enrolado apertadamente, quando umedecido, foi testado com relação à pressão apropriada de borbulhamento.

A Patente US 5.156.179, cuja exposição é incorporada aqui para referência, descreve um sistema de irrigação que é controlado usando um tensiômetro responsivo ao potencial capilar de água. O sistema compreende um "dispositivo controlador de escoamento" que inclui um conjunto de válvula conectado com o tensiômetro para "prover controle automático de escoamento de água para irrigação". Variações em pressão no tensiômetro movem um pistão na válvula para prover "controle variável da taxa de escoamento" através do conjunto de válvula "de acordo com a tensão capilar do solo para água".

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Um aspecto de algumas formas de concretização da invenção refere-se à provisão de um tensiômetro para medir potencial capilar de um solo, para o qual funções de provisão de contato hidráulico com o solo e vedação de um reservatório de água usado com ou compreendido no tensiômetro contra ingresso de ar através do contato hidráulico são providas por diferentes componentes do tensiômetro.

De acordo com um aspecto de algumas formas de concretização da invenção, um septo, doravante um "septo de vedação" forma uma interface do reservatório de água de tensiômetro com um componente do tensiômetro formado a partir de um material poroso que provê contato hidráulico entre o reservatório de tensiômetro e o solo e quando úmido substancialmente veda o reservatório contra ingresso de ar através do material

poroso. Por conveniência de apresentação, o componente formado a partir do material poroso é referido como um "acoplador hidráulico".

Em uma forma de concretização da invenção, porque o septo de vedação substancialmente provê vedação apropriada do reservatório de água, o material poroso do acoplador hidráulico é geralmente não requerido, quando úmido, para ter uma pressão de borbulhamento maior que um valor absoluto de um potencial capilar mínimo do solo em que o tensiômetro deve ser usado. (Como notado acima, o potencial capilar é usualmente uma pressão negativa, e um potencial capilar mínimo é A pressão negativa tendo um valor absoluto máximo. A pressão de borbulhamento de um material é o negativo de um potencial capilar mínimo no qual ar não passará através do material, geralmente quando o material é apropriadamente umedecido). Por substancialmente separar a função de provisão de contato hidráulico com um solo e a função de vedação contra passagem de ar, um espectro relativamente amplo de materiais pode ser usado o acoplador hidráulico e um tensiômetro pode vantajosamente ser configurado para aplicações agrícolas específicas, enquanto também provê contato hidráulico relativamente melhorado com o solo.

Por exemplo, de acordo com um aspecto de algumas formas de concretização da invenção, o acoplador hidráulico compreende um material poroso no qual raízes de planta são capazes de crescer relativamente facilmente. Opcionalmente, o material poroso compreende um geotêxtil e/ou fibra de vidro tecido e/ou não-tecido. A prática da invenção não é, todavia, limitada a tais materiais e um tensiômetro de acordo com uma forma de concretização da invenção pode, por exemplo, compreender qualquer material hidrofílico caracterizado por porosidade apropriada e pode evidentemente compreender materiais relativamente rígidos, tais como cerâmicas.

É notado que as raízes de quaisquer plantas são capazes de gerar pressão hidráulica equivalente a aproximadamente 15 atmosferas a fim

de extrair água a partir do solo. Uma tal pressão pode causar gradientes relativamente escalonados em umidade do solo, para a qual o solo em uma vizinhança próxima de raízes de uma planta é substancialmente mais seco que exterior ao solo de uma vizinhança próxima. Uma vez que o crescimento e a saúde da planta são geralmente relativamente sensíveis ao ambiente do solo próximo às suas raízes, um tensiômetro para o qual as raízes de planta são capazes de crescer dentro do acoplador hidráulico do tensiômetro pode prover medições de potencial capilar de água vantajosamente sensíveis às condições do solo nas vizinhanças próximas das raízes de planta. Tais medições podem ser particularmente vantajosas para uso no controle de um sistema de irrigação que provê água para as plantas.

Um aspecto de algumas formas de concretização da invenção refere-se à provisão de um tensiômetro que é relativamente barato e simples de ser produzido e usado.

Em uma forma de concretização da invenção, um tensiômetro compreende uma carcaça tendo uma primeira parte de carcaça formada tendo um orifício de entrada para comunicação com um reservatório de água vedado e uma segunda parte de carcaça formada para se conjugar com a primeira parte. As partes conjugadas são montadas ensanduichando um septo de vedação entre o orifício e uma primeira região de um material de acoplamento hidráulico poroso que é posicionado na carcaça de tensiômetro quando o tensiômetro é montado. Uma segunda região do material de acoplamento hidráulico é posicionada fora da carcaça montada e provê acoplamento hidráulico do tensiômetro ao solo, para o qual o tensiômetro provê medições de potencial capilar. Opcionalmente, a primeira e segunda partes de carcaça são formadas por plástico de moldagem por injeção. Opcionalmente, o septo de vedação é formado a partir de materiais facilmente disponíveis no mercado, tais como um plástico, cerâmica, ou metal sinterizado caracterizado por uma porosidade que tem apropriada uniformidade e apropriado tamanho

de poro. Opcionalmente, o tamanho de poro tem uma dimensão característica tendo uma média entre aproximadamente 0,5 micron e aproximadamente 1 micron. Opcionalmente, o material de acoplamento hidráulico compreende um geotêxtil. O tensiômetro pode rapidamente ser montado por qualquer de
5 vários métodos conhecidos na arte, tais como por soldagem ultra-sônica, colagem, ou travamento rápido da primeira e segunda partes de carcaça juntas.

Um aspecto de algumas formas de concretização da invenção refere-se à provisão de uma configuração de tensiômetros que provê uma
10 medição de potencial capilar de água responsivo às condições de potencial capilar de água sobre uma área relativamente grande.

De acordo com um aspecto de algumas formas de concretização da invenção, uma pluralidade de tensiômetros é distribuída sobre a área e os tensiômetros na pluralidade são acoplados a um mesmo
15 reservatório de água comum. A pressão de um vácuo parcial no reservatório comum é responsiva ao potencial capilar de água em cada dos locais nos quais um tensiômetro da pluralidade de tensiômetros é posicionado. No equilíbrio, a pressão de um vácuo parcial no reservatório comum de água provê uma medida, doravante um "potencial capilar representativo", de
20 potencial capilar de água na área que é intermediária a um valor mais alto e mais baixo para potencial capilar de água provido pelos tensiômetros. Uma pressão apropriada ou calibre de vácuo é usado para prover uma medição da pressão no reservatório e assim uma medida do potencial capilar representativo.

25 Um aspecto de algumas formas de concretização da invenção refere-se à provisão de um algoritmo de gestão de água aperfeiçoado para controlar irrigação de um campo responsivo ao potencial capilar de água.

Em uma forma de concretização da invenção, um ciclo de irrigação definido pelo algoritmo compreende um período de irrigação ativa

durante o qual o algoritmo controla um sistema de irrigação para prover pulsos de água para um campo responsivo às medições de potencial capilar de água no campo. Opcionalmente, o ciclo é um ciclo diurno. Opcionalmente, pulsos de água são providos, responsivos às medições de comparação de potencial capilar de água para uma medição de potencial capilar de água de calibração. Em uma forma de concretização da invenção, a medição de potencial de água de calibração é obtida antes do período de irrigação ativo em um instante para o qual as plantas no campo têm uma demanda relativamente pequena de água. Geralmente, as plantas exibem uma demanda mínima de água à noite, frequentemente nas horas do crepúsculo e é em tais horas que as medições de potencial capilar de calibração são opcionalmente obtidas. Opcionalmente, as medições de potencial capilar de água são obtidas usando um tensiômetro.

Em uma forma de concretização da invenção, um algoritmo controla um sistema de irrigação para prover água para um campo continuamente durante um período de irrigação ativo. A duração do período de irrigação ativo é determinada pelo algoritmo responsivo a uma comparação de uma medição de potencial capilar de água para o campo com um potencial capilar de água de calibração.

Por conseguinte, é provido, de acordo com uma forma de concretização da invenção, um tensiômetro para uso na determinação de potencial capilar de um solo compreendendo: uma entrada de água; um acoplador hidráulico compreendendo um material poroso para prover acoplamento hidráulico entre água que entra na entrada e o solo; e um septo que veda água que entra na entrada contra ingresso de ar através do material poroso. Opcionalmente, o material poroso compreende um geotêxtil. Adicionalmente ou alternativamente, o material poroso é adaptado para permitir crescimento de raízes de planta no mesmo.

Em algumas formas de concretização da invenção, o septo

compreende uma superfície de septo, pelo menos uma parte da qual é contígua com água que entra na entrada. Opcionalmente, o tensiômetro compreende um labirinto de água tendo deflectores. Opcionalmente, a porção da superfície de septo contata os deflectores.

5 Em algumas formas de concretização da invenção, o septo compreende uma membrana e a superfície de septo é uma superfície da membrana. Opcionalmente, a membrana compreende uma pluralidade de camadas. Opcionalmente, as camadas compreendem uma primeira camada tendo uma pressão de borbulhamento maior que aproximadamente um valor
10 absoluto máximo do potencial capilar do solo em que o tensiômetro é usado. Opcionalmente, a primeira camada é suportada por pelo menos uma camada de suporte. Opcionalmente, a primeira camada é ensanduichada entre duas camadas de suporte.

 Em algumas formas de concretização da invenção, o septo tem
15 uma pressão de borbulhamento maior que aproximadamente um valor absoluto máximo do potencial capilar do solo em que o tensiômetro é usado.

 Em algumas formas de concretização da invenção, a pressão de borbulhamento é aproximadamente igual a uma atmosfera.

 Em algumas formas de concretização da invenção, um
20 tensiômetro compreende um membro elástico que pressiona resilientemente o material poroso contra o septo.

 Em algumas formas de concretização da invenção, um tensiômetro compreende um reservatório de água acoplado à entrada de água.

 Em algumas formas de concretização da invenção, um
25 tensiômetro compreende um dispositivo para prover uma medida da pressão no reservatório de água.

 É ainda provido, de acordo com uma forma de concretização da invenção, um sistema de irrigação compreendendo: um tubo de irrigação tendo pelo menos um orifício de saída para fornecer água a partir do tubo;

pelo menos um tensiômetro de acordo com uma forma de concretização da invenção acoplado ao tubo de irrigação de modo que saída de água a partir de um orifício do pelo menos um orifício é restringida de passar substancialmente diretamente a partir do orifício através do acoplador hidráulico. Opcionalmente, o tubo de irrigação compreende pelo menos um emissor e um orifício de saída é um orifício do pelo menos um emissor. Adicionalmente ou alternativamente, o pelo menos um emissor é um emissor integrado. Adicionalmente ou alternativamente, o pelo menos um emissor compreende uma pluralidade de emissores.

Em algumas formas de concretização da invenção, cada do pelo menos um tensiômetro é acoplado ao mesmo reservatório de água.

É ainda provido, de acordo com uma forma de concretização da invenção, um aparelho para uso na determinação de potencial capilar de um solo compreendendo: uma pluralidade de tensiômetros; e um mesmo reservatório de água ao qual todos dos tensiômetros são acoplados hidraulicamente. Opcionalmente, a pluralidade de tensiômetros compreende Um tensiômetro de acordo com uma forma de concretização da invenção. Adicionalmente ou alternativamente, o aparelho compreende uma válvula adaptada para conectar o sistema de irrigação a uma fonte de água e operável para permitir que água a partir da fonte de água entre no reservatório e remova ar do mesmo.

É ainda provido, de acordo com uma forma de concretização da invenção, um sistema de irrigação compreendendo: um tubo de irrigação tendo pelo menos um orifício de saída para fornecer água a partir do tubo; pelo menos um tensiômetro compreendendo um acoplador hidráulico para acoplar o tensiômetro ao solo irrigado pelo sistema de irrigação; e uma válvula adaptada para conectar o sistema de irrigação a uma fonte de água e operável para permitir que água a partir da fonte de água entre no pelo menos um tensiômetro e alimente ar a partir do tensiômetro e acoplador.

É ainda provido, de acordo com uma forma de concretização da invenção, um tensiômetro para uso na determinação de potencial capilar de um solo compreendendo: uma entrada de água; um acoplador hidráulico compreendendo um material poroso para prover acoplamento hidráulico entre
5 água que entra na entrada e o solo; uma válvula adaptada para conectar o tensiômetro a uma fonte de água e operável para permitir que água a partir da fonte de água entre no tensiômetro e flush o acoplador hidráulico.

É ainda provido, de acordo com uma forma de concretização da invenção, um método de irrigação de um campo, o método
10 compreendendo: obter um potencial capilar de água de calibração para o campo; e irrigar o campo com uma quantidade de água responsiva ao valor do potencial capilar de calibração. Opcionalmente, a irrigação de um campo compreende realizar uma irrigação ciclicamente. Opcionalmente, irrigar o campo ciclicamente compreende irrigar o campo em ciclos diurnos.
15 Opcionalmente, obter um potencial capilar de água de calibração compreende obter um potencial capilar de água de calibração pelo menos uma vez ao dia.

Em algumas formas de concretização da invenção, o campo compreende plantas e obter o potencial capilar de água de calibração compreende obter o potencial capilar quando as plantas exibem uma demanda
20 relativamente pequena de água.

Em algumas formas de concretização da invenção, a provisão de uma quantidade de água compreende provisão de um pulso de água. Opcionalmente, a provisão de uma quantidade de água compreende obter uma medição de potencial capilar de água para o campo em adição ao potencial
25 capilar de água de calibração, comparar a medição de potencial capilar de água adicional com o potencial capilar de água de calibração, e provisão de uma quantidade de água responsiva à comparação. Opcionalmente, comparar a capilaridade de água adicional com o potencial capilar de calibração compreende determinar sua diferença. Opcionalmente, a provisão de um

pulso de água compreende provisão do pulso responsivo à diferença.

Em algumas formas de concretização da invenção, a provisão de água compreende provisão de água continuamente. Opcionalmente, a provisão de água continuamente compreende determinar um período de irrigação responsivo ao potencial capilar de água de calibração e provisão de
5 água continuamente para o período de irrigação predeterminado. Opcionalmente, determinar o período de irrigação compreende determinar o período de irrigação responsivo a uma diferença entre a capilaridade de água de calibração e uma capilaridade de água de calibração previamente
10 determinada.

É ainda provido, de acordo com uma forma de concretização da invenção, um sistema de irrigação compreendendo: um tubo de irrigação tendo pelo menos um orifício de saída para fornecer líquido a partir do tubo; pelo menos um acoplador hidráulico acoplado ao tubo de irrigação de modo
15 que líquido que sai a partir de um orifício do pelo menos um orifício passa através do acoplador hidráulico; e pelo menos um dispositivo de detecção acoplado ao acoplador hidráulico para detectar uma propriedade associada com líquido no acoplador hidráulico, responsiva àquela saída de propriedade de água via pelo menos um orifício é controlado. Opcionalmente, a
20 propriedade detectada compreende potencial capilar. Adicionalmente ou alternativamente, a propriedade detectada compreende teor de umidade do acoplador hidráulico.

Opcionalmente, o sistema de irrigação compreende um controlador que controla saída de água através do pelo menos um orifício
25 responsivo à propriedade detectada.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Exemplos não limitativos de formas de concretização da invenção são descritos abaixo com referência às figuras anexadas e listadas abaixo. Estruturas, elementos ou partes idênticos que aparecem em mais que

uma figura são geralmente designados com o mesmo número em todas das figuras nas quais eles aparecem. As dimensões dos componentes e características mostrados nas figuras são escolhidas por conveniência e clareza de apresentação e não são necessariamente mostradas em escala.

5 A figura 1A mostra esquematicamente uma vista explodida de um tensiômetro, de acordo com uma forma de concretização da invenção;

 A figura 1 B mostra esquematicamente detalhes de uma parte de carcaça superior do tensiômetro mostrado na figura 1A, de acordo com uma forma de concretização da invenção;

10 A figura 1C mostra esquematicamente uma vista plana da parte de carcaça superior mostrada na figura 1B, de acordo com uma forma de concretização da invenção;

 A figura 1D mostra esquematicamente uma vista em perspectiva de uma parte de carcaça inferior do tensiômetro mostrado na
15 figura 1A, de acordo com uma forma de concretização da invenção;

 A figura 2 mostra esquematicamente uma vista do tensiômetro montado mostrado nas figuras 1A- 1B, de acordo com uma forma de concretização da invenção;

 A figura 3 mostra esquematicamente uma vista de seção
20 transversal lateral do tensiômetro mostrado na figura 1A, e a figura 2 conectado com um reservatório de água vedado, de acordo com uma forma de concretização da invenção;

 A figura 4 mostra esquematicamente uma configuração de
25 tensiômetros distribuídos no solo de um campo agrícola no qual plantas cresceram, de acordo com uma forma de concretização da invenção;

 As figuras 5A e 5B mostram um fluxograma de um algoritmo para controlar irrigação de um campo responsivo ao potencial capilar de água de acordo com uma forma de concretização da invenção; e

 A figura 6 mostra um fluxograma de outro algoritmo para

controlar irrigação de um campo responsivo ao potencial capilar de água de acordo com uma forma de concretização da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA

A figura 1A mostra esquematicamente uma vista explodida de um tensiômetro 20 para medir potencial capilar de água em um solo, de acordo com uma forma de concretização da invenção. As figuras 1B- 1D mostram esquematicamente vistas ampliadas de componentes de tensiômetro 20 mostrado na figura 1A. A figura 2 mostra esquematicamente uma vista montada do tensiômetro 20. Por conveniência de apresentação, o aparelho 20 é referido como um tensiômetro, muito embora, como mostrado nas figuras 1A- 1D, opcionalmente, ele não compreenda um reservatório de água e aparelhos para prover uma medida da pressão no reservatório.

O tensiômetro 20 compreende opcionalmente uma carcaça 22 tendo primeira e segunda partes de carcaça 30 e 50, doravante referidas por conveniência como parte superior de carcaça 30 e parte inferior de carcaça 50, um septo de vedação 60, um acoplador hidráulico ao solo 70 formado a partir de um material poroso e um elemento resiliente 80.

O acoplador hidráulico 70 é formado tendo uma região de acoplamento ao solo 72 que se estende fora da carcaça 22 quando o tensiômetro 20 está montado (figura 2) e é uma parte de tensiômetro 20 que contata o solo, para o qual o tensiômetro provê medições de potencial capilar de água e acopla hidraulicamente o tensiômetro ao solo. Opcionalmente, a região de acoplamento ao solo 72 aumenta com a distância a partir da carcaça de tensiômetro 22. O acoplador hidráulico 70 compreende opcionalmente uma região de pescoço 74 e uma região de acoplamento um reservatório opcionalmente circular 76, que são discutidas abaixo e são posicionadas dentro da carcaça 22. O acoplador hidráulico 70 é opcionalmente formado de um material poroso flexível e é opcionalmente de modo que as plantas que devem crescer em um solo no qual o tensiômetro 20 deve ser usado para

monitorar potencial capilar de água pode incluir suas raízes. Opcionalmente, o acoplador hidráulico 70 é formado de um material compreendendo um geotêxtil.

5 A parte superior de carcaça 30 compreende uma haste tubular 31 tendo a lúmen para conectar o tensiômetro 20 a um reservatório de água vedado de tensiômetro e é formada tendo um rebaixo de septo 33, mostrado em uma vista em perspectiva da primeira parte de carcaça 30 a partir de um lado oposto àquele da haste 31 na figura 1B, que assenta o septo de vedação 60. Uma superfície inferior 34 de rebaixo de septo 33 é formada tendo um
10 furo de entrada 35, claramente mostrado em uma vista plana de parte superior de carcaça 30 na figura 1C, através do qual água proveniente de um reservatório conectado à haste 31 entra no tensiômetro 20. A superfície inferior 34 do rebaixo de septo 33 é opcionalmente formada tendo um labirinto de escoamento de água 36 compreendendo uma entrada, deflector de
15 desvio 37 que cobre porções de furo de entrada 35 e uma pluralidade de deflectores cilíndricos elevados 38. O deflector de desvio 37 é opcionalmente “configurado como estrela do mar” compreendendo cinco braços angularmente igualmente espaçados 39. O labirinto 36 é circundado por uma superfície anular, opcionalmente planar, 40, desprovida de componentes de
20 labirinto. Parte superior de carcaça 30 opcionalmente compreende um pescoço 41 formado tendo um canal 42 para receber a região de pescoço 74 do acoplador hidráulico 70 e opcionalmente compreende uma crista de montagem 44 para montagem da parte superior de carcaça 30 na parte inferior de carcaça 50.

25 O septo de vedação 60 opcionalmente compreende uma membrana de septo porosa 61 suportada por uma armação de septo anular 62, que opcionalmente se projeta sobre qualquer lado do plano da membrana de septo. Quando o tensiômetro 20 é montado, a armação de septo anular assenta-se sobre a região anular 40 da superfície inferior 34 e a membrana de

septo 61 opcionalmente repousa sobre e é suportada pelos deflectores de desvio e deflectores cilíndricos 37 e 38.

A membrana de septo 61 transmite água, mas é caracterizada por uma pressão de borbulhamento, doravante referida como uma "pressão de borbulhamento de operação", quando úmida, que é igual a um potencial capilar de água máximo, tipicamente entre aproximadamente -0,2 bar a aproximadamente -0,7 bar, que é esperado ser encontrado em um solo no qual o tensiômetro 20 deve ser usado. Opcionalmente, a pressão de borbulhamento de operação da membrana porosa 61 é igual a aproximadamente 1 atmosfera.

Como um resultado, água pode passar através da membrana 61 relativamente facilmente, mas para uma pressão diferencial através da membrana menor que ou igual a aproximadamente um potencial capilar de água máximo do solo no qual o tensiômetro 20 é usado, a membrana 61 é substancialmente impermeável a ar. Opcionalmente, a membrana 61 é uma estrutura em camadas, mostrada esquematicamente em um detalhe 66 na figura 1A, e opcionalmente compreende uma camada porosa 63, que transmite água, mas, quando úmida, é impermeável a ar para pressões menores que uma pressão de borbulhamento de operação apropriada, ensanduichada entre duas camadas de suporte 64. Opcionalmente, a camada porosa 63 é formada, a título de exemplo, de uma cerâmica, e/ou um metal sinterizado e/ou a apropriado pano tecido ou não-tecido tendo porosidade apropriada. Camadas de suporte 64 são opcionalmente emalhadas, ou camadas do tipo de tela formadas de qualquer material apropriadamente rígido e forte. Opcionalmente, a camada porosa 63 é caracterizada por um tamanho de poro médio de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1 micron. Opcionalmente, as camadas de suporte são formadas de um metal e/ou plástico.

A parte inferior de carcaça 50 é formada para se conjugar com a parte superior de carcaça 30 e é opcionalmente formada tendo uma crista de conjugação 51 que é conjugada para se ajustar dentro do rebaixo 33 (figura

1B) formado na parte superior de carcaça 30 de modo que ele alinha a parte superior e a parte inferior da carcaça. A crista de conjugação 51 define uma porção de um limite de um rebaixo 52 que assenta na região de acoplamento a reservatório 76 (figura 1A) do acoplador hidráulico 70. A parte inferior de carcaça também compreende um pescoço 54 formado tendo um canal 55 que se conjuga ao pescoço 41 e canal 42 respectivamente da parte superior de carcaça 30. Uma superfície inferior 56 de rebaixo 52 é opcionalmente formada tendo uma cavidade 57 para receber o elemento resiliente 80, opcionalmente em um formato de uma esfera, formado de um material elástico. Uma borda periférica de ar 58, externa, opcionalmente plana, circunda a crista de conjugação 51 e o canal 55.

Quando o tensiômetro 20 é montado, a crista de montagem 44 da parte superior de carcaça 30 contata e é ligada ao limite periférico 58 da parte inferior de carcaça 50 e a crista de conjugação 51 pressiona a armação de septo anular 62 contra a superfície anular 40 da parte superior de carcaça 30 para segurar o septo 50 no rebaixo de septo 33 da parte superior de carcaça. A esfera resiliente 80 é comprimida ligeiramente e tensiona a região de acoplamento a reservatório do acoplador hidráulico 70 para pressionar resilientemente sobre a membrana de septo 61 e a membrana de septo para repousar seguramente sobre os labirintos de deflectores de água 37 e 38. Por causa do contato seguro entre membrana de septo 61 e os deflectores de labirinto 37 e 38, água que entra no tensiômetro 20 é distribuída substancialmente igualmente sobre uma superfície de membrana de septo 61 que contata os deflectores de labirinto. O deflector de desvio de estrela do mar 37 opera para dirigir porções substancialmente iguais de água que entra no furo de entrada 35 para escoar radialmente em cada de cinco diferentes setores definidos pelos braços de deflector de estrela do mar 39. Deflectores cilíndricos 38 dispersam água escoando radialmente azimutalmente. Como um resultado, água que entra no tensiômetro 20 através do furo de entrada 35

umedece substancialmente igualmente todas as regiões da membrana de septo 61 e a membrana torna-se substancialmente impermeável à passagem de ar para a pressão de borbulhamento para a qual é destinada.

A figura 3 mostra esquematicamente uma vista em seção transversal lateral do tensiômetro 20 mostrado na figura 1A e a figura 2 conectada a um reservatório de água vedado 100 parcialmente cheio com água 120 e sendo usado para determinar um valor para o potencial capilar de água ψ de uma região de solo 130, de acordo com uma forma de concretização da invenção. É notado que, enquanto o reservatório de água 100 é mostrado acima de uma superfície da região de solo 130, na prática, o reservatório de água é geralmente posicionado abaixo de uma superfície de solo para a qual o tensiômetro é usado para medir o potencial capilar de água.

O tensiômetro 20 é posicionado na região de solo 130 de modo que a região de acoplamento ao solo 72 do acoplador hidráulico 70 está em contato com o solo na região de solo. Um medidor de pressão 102 é acoplado ao reservatório de água 100 para medir a pressão no reservatório. Na figura 3, a título de exemplo, um medidor de pressão é mostrado como um manômetro tendo um ramo esquerdo 103 acoplado ao reservatório de água 100 e um ramo direito 104 exposto à pressão atmosférica. É considerado que o manômetro compreende mercúrio 125 como um fluido de manômetro, e o ramo esquerdo 103 entre o mercúrio e a água 120 no reservatório 100 é cheio com água. Enquanto na figura 3 o medidor de pressão 102 é mostrado como um manômetro, na prática qualquer medidor de pressão apropriado ou sensor conhecido na arte pode ser usado para prover uma medida da pressão em reservatório 100.

Acoplador hidráulico 70 provê um acoplamento hidráulico entre solo na região de solo 130 e água no reservatório de água 100 via o contato entre a região de acoplamento ao reservatório 76 (figura 1A) do acoplador hidráulico e septo de vedação 60. O solo extrai água do, ou

introduz água no, reservatório de água 100 através do acoplador hidráulico na dependência de se o potencial capilar de água da região de solo 130 é maior que ou menor que uma pressão em reservatório de água 100. O equilíbrio é estabelecido, para o qual não existe substancialmente nenhum escoamento de água a partir do ou para dentro do reservatório quando a pressão no reservatório é igual ao potencial capilar do solo de água. Uma vez que o potencial capilar é quase que sempre negativo, está presente um vácuo no reservatório 100 acima de uma linha d'água 121 da água 120 no reservatório. Na figura 3, o mercúrio 125 está mais alto no ramo esquerdo 103 do manômetro conectado ao reservatório de água 100 que no ramo direito 104 do manômetro exposto à pressão atmosférica. A diferença entre a altura de mercúrio nos ramos esquerdo e direito provê uma medida do vácuo parcial no reservatório de água 100 e assim do potencial capilar ψ .

A fim de operar confiavelmente, vantajosamente, a membrana de septo é mantida apropriadamente umedecida e não tem ar aprisionado em seus poros. Todavia, durante a operação, ar poderia fugir através do acoplador hidráulico 70 ou infiltrar-se através da água 120 e ser aprisionado pela membrana ou em espaços entre deflectores 37 e 38 do labirinto 39. A fim de purgar o septo 61 e/ou o labirinto 36 de ar que eles podem aprisionar, uma válvula de purga 105 é opcionalmente conectada ao reservatório 100. A válvula de purga 105 é conectada a uma fonte de água apropriada (não mostrada) e, de acordo com uma forma de concretização da invenção, é periodicamente aberta para nivelar a água que vem a partir da fonte de água através do reservatório, da membrana de septo 61, e do labirinto 36 para purgar o septo e o labirinto de ar que eles podem ter aprisionado. Vantajosamente, o espaço acima da linha d'água 121 é substancialmente um vácuo e água provida através da válvula de purga 105 é usada para remover ar a partir do reservatório 100.

Em uma forma de concretização da invenção, para prover uma

medida de potencial capilar ψ em uma região de um campo, uma pluralidade de tensiômetros, opcionalmente de um tipo mostrado nas figuras 1A-3, é posicionada no solo em diferentes locais no campo e acoplada a um reservatório de água vedado comum. A pressão no reservatório comum de água provê uma medida, isto é, "potencial capilar representativo", de potencial capilar de água no campo que é intermediário a um valor máximo e valor mínimo para o potencial capilar de água provido pelos tensiômetros. Opcionalmente, o campo é um campo agrícola para cultivo de plantas e a pluralidade de tensiômetros e potencial capilar representativo são usados para controlar a irrigação das plantas no campo.

A figura 4 mostra esquematicamente uma configuração de tensiômetros 200 distribuídos no solo de um campo agrícola 240 no qual as plantas 242 são cultivadas, de acordo com uma forma de concretização da invenção. Os tensiômetros são conectados a um mesmo reservatório de água 202 conectado a um medidor de pressão 204 usado para prover uma medida de um vácuo parcial no reservatório e, assim, de um potencial capilar representativo da região de campo agrícola 240 no qual os tensiômetros são posicionados.

A título de exemplo, na figura 4, as plantas 242 são irrigadas usando um tubo de irrigação 210, compreendendo emissores integrados 212 e tensiômetros 200 são de um tipo mostrado nas figuras 1A-3 tendo acopladores hidráulicos 70 formados a partir de um geotêxtil no qual as raízes 244 das plantas 242 são capazes de crescer. De acordo com uma forma de concretização da invenção, cada um tensiômetro 200 acoplado ao reservatório de água 202 é posicionado em uma vizinhança da planta 242 e tem seu acoplador hidráulico 70 envolto em torno de uma região de tubo de irrigação 210 no qual um emissor 212 é posicionado. Algumas raízes 244 de plantas 242 são mostradas crescendo dentro do pano geotêxtil de acopladores hidráulicos 70 dos tensiômetros 200. Por causa da proximidade estreita dos

emissores 212 e raízes de planta 244 aos acopladores hidráulicos 70, cada tensiômetro 200 é responsivo ao potencial capilar de água do solo, ao qual as plantas 242 são relativamente sensíveis e a variações no potencial capilar produzido pela água emitida pelos emissores 212.

5 Em uma forma de concretização da invenção, medições de variações em pressão no reservatório 202, e assim de variações em potencial capilar representativo da água de campo 240, providas pelo medidor de pressão 204, são usadas para controlar a água emitida pelos emissores 212. Quando o potencial capilar de água representativo emitido pelo medidor de
10 pressão 204 cai abaixo de um desejado limite inferior para o potencial capilar de água, os emissores 212 são controlados para liberar água para o solo. Quando o potencial capilar de água representativo se eleva acima de um desejado limite superior, os emissores são impedidos de fornecer água para o solo.

15 Opcionalmente, os emissores 212 liberam água para a região de solo 240 somente depois de a pressão no tubo de irrigação 210 se elevar acima de uma pressão de limite de água de liberação e a água liberada pelos emissores 212 é controlada pelo controle de pressão no tubo de irrigação. Em algumas formas de concretização da invenção, a liberação de água é
20 controlada por pressão de pulsação no tubo de irrigação 210 acima da pressão de limite de emissor. Em algumas formas de concretização da invenção, os pulsos de pressão são periódicos e são caracterizados por um comprimento de pulso. O período e comprimento de pulso do pulso de pressão são opcionalmente determinados responsivos a um tempo de relaxação de
25 "hidratação" de solo na região de solo 240 característica de um tempo que o solo leva para atingir um potencial capilar de água limite em seguida à liberação de uma quantidade de água ao solo por um emissor 212 durante um pulso de pressão. O controle de liberação da água de acordo com uma forma de concretização da invenção por pressão de água pulsante, responsiva a um

tempo de relaxação de hidratação do solo pode ser vantajoso na provisão de controle de irrigação relativamente acurado. Por exemplo, pode ser vantajoso impedir super irrigação das plantas 242.

Os inventores das formas de concretização da invenção
 5 executaram experimentos de irrigação, nos quais as plantas foram irrigadas responsivas a um potencial capilar representativo de acordo com uma forma de concretização da invenção. Os inventores verificaram que elas foram capazes de atingir produções de colheita relativamente melhores com quantidades relativamente menores de aquelas que seriam normalmente
 10 providas às plantas.

Sob algumas condições, um potencial capilar de água representativo provido por uma pluralidade de tensiômetros de acordo com uma forma de concretização da invenção é substancialmente igual a uma média das medições providas pelos tensiômetros. Por exemplo, assuma que
 15 em um local de um “i-ésimo” tensiômetro 200, por conveniência representado por “ T_i ”, na região de solo 240, o potencial capilar de água é ψ_i . No equilíbrio, um vácuo parcial no reservatório de água 202 se estabelece em uma pressão igual àquela de um potencial capilar representativo “ ψ_0 ”. No potencial capilar representativo, tanta água entra no reservatório de água 202 a partir dos tensiômetros T_i em locais para os quais os potenciais capilares ψ_j
 20 $> \psi_0$ quanto sai do reservatório de água a partir dos tensiômetros T_i em locais para os quais $\psi_i < \psi_0$. Assuma que água que escoar para dentro ou para fora de um tensiômetro T_i é proporcional a $(\psi_i - \psi_0)/R$, onde R é uma resistência ao transporte de água do solo na região de solo 240, que é a mesma para todos
 25 locais dos tensiômetros T_i , e é independente de $(\psi_i - \psi_0)$. Então, no equilíbrio,

$$\sum_i^N (\psi_i - \psi_0) / R = 0 \text{ e } \psi_0 = \frac{1}{N} \sum_i^N \psi_i,$$

de modo que ψ_0 é uma média de todos os ψ_i . Todavia, é esperado que, em geral, R não somente não será o mesmo para todos os locais da região de solo 130, mas será dependente de $(\psi_j - \psi_0)$.

Como um resultado, é esperado que um dado potencial capilar de água representativo será em geral algum tipo de média ponderada do potencial capilar nos locais de cada dos tensiômetros 200.

Em algumas formas de concretização da invenção, a provisão
 5 de água para um campo agrícola por um sistema de irrigação, tal como o campo agrícola 240 e o sistema de irrigação mostrado na figura 4, que provê medições de potencial capilar de água do solo ψ , é controlado de acordo com um algoritmo 300 tendo um fluxograma similar àquele mostrado nas figuras 5A e 5B. O fluxograma delineia um ciclo de provisão de água opcionalmente
 10 diurno no qual o sistema de irrigação provê pulsos de água ao campo sujeito a certas condições de "disparo", descritas abaixo, prevalecentes.

Em um bloco 301, opcionalmente, valores para os parâmetros que controlam o ciclo de provisão de água T_{cal} , T_{diff} , T_B e T_E são determinados. T_{cal} é um tempo durante o ciclo diurno no qual o sistema de
 15 irrigação calibra medições de potencial capilar de água e obtém uma medição de potencial capilar de água de calibração M_O . M_O é opcionalmente obtida durante a noite durante um período de tempo durante o qual a irrigação não foi provida e a demanda de água pelas plantas no campo é mínima. Opcionalmente, T_{cal} é aproximadamente 0500. T_{diff} é um lapso de tempo
 20 máximo, opcionalmente fixo, permitido pelo algoritmo 300 entre a provisão de pulsos de água ao campo 240. Opcionalmente, T_{diff} é igual a aproximadamente 5 horas. T_B é um tempo seguinte ao tempo T_{cal} no qual o sistema de irrigação inicia um período de "irrigação ativa", em que ele provê um pulso de água ao campo 240 quando uma condição de disparo ocorre. T_E é
 25 um tempo no qual o período de irrigação ativo termina. Opcionalmente, T_B é aproximadamente uma hora mais tarde que T_{cal} e T_E é um tempo aproximadamente no crepúsculo, por exemplo aproximadamente 1700.

Na etapa 302, o algoritmo 300 verifica um relógio de sistema (não mostrado) para obter uma leitura do tempo, " T_{clock} ". Em um bloco de

decisão 303, o tempo T_{clock} é verificado para ver se é aproximadamente igual a T_{cal} . Se não for, então o algoritmo retorna para o bloco 302 para obter uma nova leitura para T_{clock} , se, por outro lado, T_{clock} é aproximadamente igual a T_{cal} , o algoritmo 300 avança para um bloco 304 e obtém uma leitura de
 5 calibração, M_O , do potencial capilar do solo ψ . O algoritmo então prossegue para obter uma outra leitura, T_{clock} do relógio de sistema em um bloco 305 e então prossegue para um bloco de decisão 306. No bloco de decisão 306, o algoritmo 300 determina se T_{clock} é maior que ou igual ao tempo T_B no qual a irrigação ativa do campo 240 deve começar. Se T_{clock} é menor que T_B , o
 10 algoritmo retorna para o bloco 305 para obter uma outra leitura para T_{clock} . Se, por outro lado, T_{clock} é maior que ou aproximadamente igual a T_B , o algoritmo 300 avança para um bloco 307 e ajusta um parâmetro de tempo variável T_P igual a T_{clock} , e em um bloco 308 ajusta opcionalmente ΔT igual a $(T_{\text{clock}} - T_P)$, que inicializa ΔT para zero.

15 Opcionalmente, em um bloco de decisão 309, o algoritmo 300 determina se ΔT é maior que T_{diff} . Se não for, (que, neste estágio, imediatamente depois da inicialização, é o caso) o algoritmo 300 opcionalmente salta para um bloco 313. No bloco 313, o algoritmo 300 obtém uma medição M_1 do potencial capilar de água do campo 240, opcionalmente
 20 responsivo às leituras a partir dos tensiômetros 200 (figura 4), e prossegue para determinar em um bloco de decisão 314 se o valor absoluto de $|M_1|$ é maior que o valor absoluto M_O obtido no bloco 304. Se $|M_1|$ é maior que M_O , o algoritmo 300 opcionalmente prossegue para um bloco 315 e controla o sistema de irrigação para prover um pulso de água ao campo 240.

25 Em algumas formas de concretização da invenção, um pulso de água provido pelo sistema de irrigação é determinado para prover aproximadamente 0,6 litro de água por m^2 de campo 240. Os inventores determinaram que a acima mencionada quantidade de água por pulso é conveniente para manter irrigação apropriada, geralmente, se um tempo entre

pulsos é maior que ou aproximadamente igual a 0,5 horas. Em algumas formas de concretização da invenção, o algoritmo 300 aumenta uma quantidade de água provida por um pulso de irrigação se o tempo entre pulsos diminui para menos que aproximadamente 0,5 horas. Por exemplo, se o

5 algoritmo de irrigação 300 "achar" que $|M_I|$ aumenta relativamente rapidamente, indicando uma exigência para pulsos de irrigação a cada 0,25 horas, opcionalmente o algoritmo aumenta a quantidade de água provida por um pulso de irrigação. Opcionalmente, o algoritmo aumenta água provida por um pulso para aproximadamente 0,9 litros/m² se ele achar que a demanda

10 para pulsos de irrigação atinge uma taxa de aproximadamente 4 pulsos por hora.

Em seguida à provisão do pulso de água, o algoritmo 300 prossegue para um bloco 316 e obtém uma nova leitura para T_{clock} e reajusta T_P para T_{clock} em um bloco 317. É notado que no bloco de decisão 314, se $|M_I|$

15 é menor que M_O , o algoritmo 300 salta os blocos 315 a 317, não provê um pulso de água, e vai diretamente para um bloco de decisão 318 mostrado na figura 5B.

Retornando para o bloco 309, se ΔT é maior que T_{diff} , o algoritmo 300 não salta para o bloco 314 onde ele mede M_I , mas, ao invés

20 disso, opcionalmente, prossegue para um bloco 310 e provê um pulso de irrigação de água ao campo 240. Depois disso, o algoritmo prossegue para um bloco 311, obtém uma nova leitura para T_{clock} e em um bloco 312 reajusta T_P para T_{clock} . Ele então prossegue para o bloco 314 para medir M_I e através dos blocos 315-317 eventualmente para o bloco de decisão 318.

25 No bloco de decisão 318, o algoritmo 300 determina se T_{clock} é maior que ou igual a T_E , o tempo ajustado no bloco 301 no qual o período de irrigação ativo termina e um novo ciclo de irrigação começa. Se T_{clock} é menor que T_E , o algoritmo 300 retorna para o bloco 308 e reajusta ΔT , caso contrário, o algoritmo retorna para o bloco 302 para começar o ciclo

novamente.

Em algumas formas de concretização da invenção, um campo agrícola, tal como o campo 240 (figura 4) é irrigado de acordo com um algoritmo 400 tendo um fluxograma mostrado na figura 6. O algoritmo 400
5 controla um sistema de irrigação para prover continuamente água ao campo agrícola 240 durante um período de irrigação ativo ao invés de por provisão de água pulsante.

Em um bloco 401 do algoritmo 400, opcionalmente, os parâmetros T_B , T_E , T_{diff} , T_{irr} , T_{cal} , e M_{diff} são ajustados. Tal como no algoritmo
10 300, T_B e T_E são tempos de início e fim de irrigação ativa e T_{cal} é um tempo de calibração. T_{irr} é um valor inicial para duração do período de irrigação ativo, e T_{diff} é um ajuste para T_{irr} , que o algoritmo 400 torna o objeto para certas condições de potencial capilar de água do campo 240. M_{diff} é uma alteração máxima, opcionalmente fixa, em potencial capilar de água, para o
15 qual o algoritmo 400 não ajusta T_{irr} . Os efeitos dos parâmetros ajustados no bloco 401 sobre decisões do algoritmo 400 são clarificados abaixo. Em algumas formas de concretização da invenção, T_{irr} e T_{diff} têm valores igual a aproximadamente 3 horas e 0,2 hora, respectivamente. M_{diff} é opcionalmente um número positivo tendo valor igual a uma fração menor que um de um
20 típico potencial capilar para o campo sendo irrigado com o sistema de irrigação. Opcionalmente, M_{diff} é igual a aproximadamente 5% de um potencial capilar de calibração obtido para o campo. Opcionalmente, para um dado dia, M_{diff} é igual a 5% de um potencial capilar de calibração para um dia prévio.

25 Em um bloco 402, o algoritmo 400 obtém um valor para T_{clock} , e opcionalmente em um bloco de decisão 403 determina se T_{clock} é igual a T_{cal} . Se não for, ele retorna para o bloco 402 para obter um novo valor para T_{clock} . Por outro lado, se T_{clock} é igual a T_{cal} , o algoritmo prossegue para um bloco 404 e obtém uma leitura " M_n " para o potencial capilar de água ψ do campo

240. O subscrito "n" se refere a um "n-ésimo" dia, assumido um dia corrente, de operação do sistema de irrigação na provisão de água ao campo 240. Em um bloco 404, o algoritmo 400 armazena o valor para M_n em uma memória apropriada. Em um bloco 405, o algoritmo opcionalmente conjuga um valor a ΔM igual a uma diferença entre a leitura corrente M_n do potencial capilar de água e um valor de uma leitura, M_{n-1} , do potencial capilar de água obtido para o dia antes do dia corrente.

In um bloco de decisão 406, o algoritmo 400 determina Se um valor absoluto de ΔM é maior que ou igual a M_{diff} . Se ele for, o algoritmo prossegue para um bloco de decisão 407 para determinar se ΔM é maior que ou igual a zero. Se ΔM é maior que zero, o algoritmo prossegue do bloco 407 para um bloco 408 onde ele diminui T_{irr} por uma quantidade T_{diff} e então prossegue para um bloco 410 para obter tempo T_{clock} . Se ΔM é menor que zero, o algoritmo prossegue do bloco 407 para um bloco 409 onde ele aumenta T_{irr} por uma quantidade T_{diff} e então prossegue para um bloco 410 para obter o tempo T_{clock} .

Se no bloco de decisão 406 o valor absoluto de ΔM é menor que M_{diff} , então o algoritmo 400 salta diretamente do bloco 406 para o bloco 410 para obter T_{clock} , saltando os blocos 407, 408 e 409.

Do bloco 410, o algoritmo prossegue para bloco de decisão 411. No bloco de decisão 411, o algoritmo 400 determina Se T_{clock} obtido no bloco 410 é maior que ou igual ao tempo de início de irrigação ativa T_B . Se não for, ele retorna para o bloco 410 para obter um novo valor para T_{clock} e então para o bloco 411 para testar o novo T_{clock} . Se no bloco 411 o algoritmo determina que T_{clock} é maior que ou igual a T_B , o algoritmo prossegue para um bloco 412 e começa irrigação contínua de campo 240.

Do bloco 412, o algoritmo continua para um bloco 413 para obter um novo valor para T_{clock} e em um bloco de decisão 414 determina se $(T_{clock} - T_B)$ é maior que ou igual a T_{irr} . Se não for, o algoritmo retorna para o

bloco 412 para continuar a irrigação contínua do campo 240. Se por outro lado, $(T_{\text{clock}} - T_B) > T_{\text{irr}}$, então o algoritmo finaliza a irrigação contínua e retorna para o bloco 403.

5 Na descrição e reivindicações do presente pedido, cada um dos verbos "compreender", "incluir" e "ter", e seus conjugados, são usados para indicar que o objeto ou objetos do verbo não são necessariamente uma listagem completa dos membros, componentes elementos ou partes dos sujeitos ou sujeitos do verbo.

10 A invenção foi descrita com referência às formas de concretização da mesma, que são providas a título de exemplo e não são destinadas a limitar o escopo da invenção. As formas de concretização descritas compreendem diferentes características, nem todas das quais são requeridas em todas as formas de concretização da invenção. Algumas formas de concretização da invenção utilizam somente algumas das características ou
15 possíveis combinações das características. Variações de formas de concretização da invenção descrita e formas de concretização da invenção compreendendo diferentes combinações de características que aquelas notadas nas formas de concretização descritas ocorrerão para pessoas da arte. O escopo da invenção é limitado somente pelas seguintes reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. Tensiômetro para uso na determinação de potencial capilar de um solo, caracterizado pelo fato de que compreende:

uma entrada de água;

5 um acoplador hidráulico compreendendo um material poroso para prover acoplamento hidráulico entre água que entra na entrada e o solo; e

um septo que veda água que entra na entrada contra ingresso de ar através do material poroso.

10 2. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o material poroso compreende um geotêxtil.

3. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 1 ou a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o material poroso é adaptado para permitir crescimento de raízes de planta no mesmo.

15 4. Tensiômetro de acordo com qualquer das reivindicações precedentes, caracterizado pelo fato de que o septo compreende uma superfície de septo, pelo menos uma parte da qual é contígua com água que entra na entrada.

20 5. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o tensiômetro compreende um labirinto de água tendo deflectores.

6. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que uma porção da superfície de septo contata os deflectores.

25 7. Tensiômetro de acordo com qualquer das reivindicações 4-6, caracterizado pelo fato de que o septo compreende uma membrana e a superfície de septo é uma superfície da membrana.

8. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que a membrana compreende uma pluralidade de camadas.

9. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que as camadas compreendem uma primeira camada tendo uma

pressão de borbulhamento maior que aproximadamente um valor absoluto máximo do potencial capilar do solo em que o tensiômetro é usado.

5 10. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a primeira camada é suportada por pelo menos uma camada de suporte.

11. Tensiômetro de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a primeira camada é ensanduichada entre duas camadas de suporte.

10 12. Tensiômetro de acordo com qualquer das reivindicações 1-8, caracterizado pelo fato de que o septo tem uma pressão de borbulhamento maior que aproximadamente um valor absoluto máximo do potencial capilar do solo em que o tensiômetro é usado.

15 13. Tensiômetro de acordo com qualquer das reivindicações 9-12, caracterizado pelo fato de que a pressão de borbulhamento é aproximadamente igual a uma atmosfera.

14. Tensiômetro de acordo com qualquer das reivindicações 1-13, caracterizado pelo fato de que compreende um membro elástico que pressiona resilientemente o material poroso contra o septo.

20 15. Tensiômetro de acordo com qualquer das reivindicações 1-14, caracterizado pelo fato de que compreende um reservatório de água acoplado à entrada de água e um dispositivo para prover uma medida da pressão no reservatório de água.

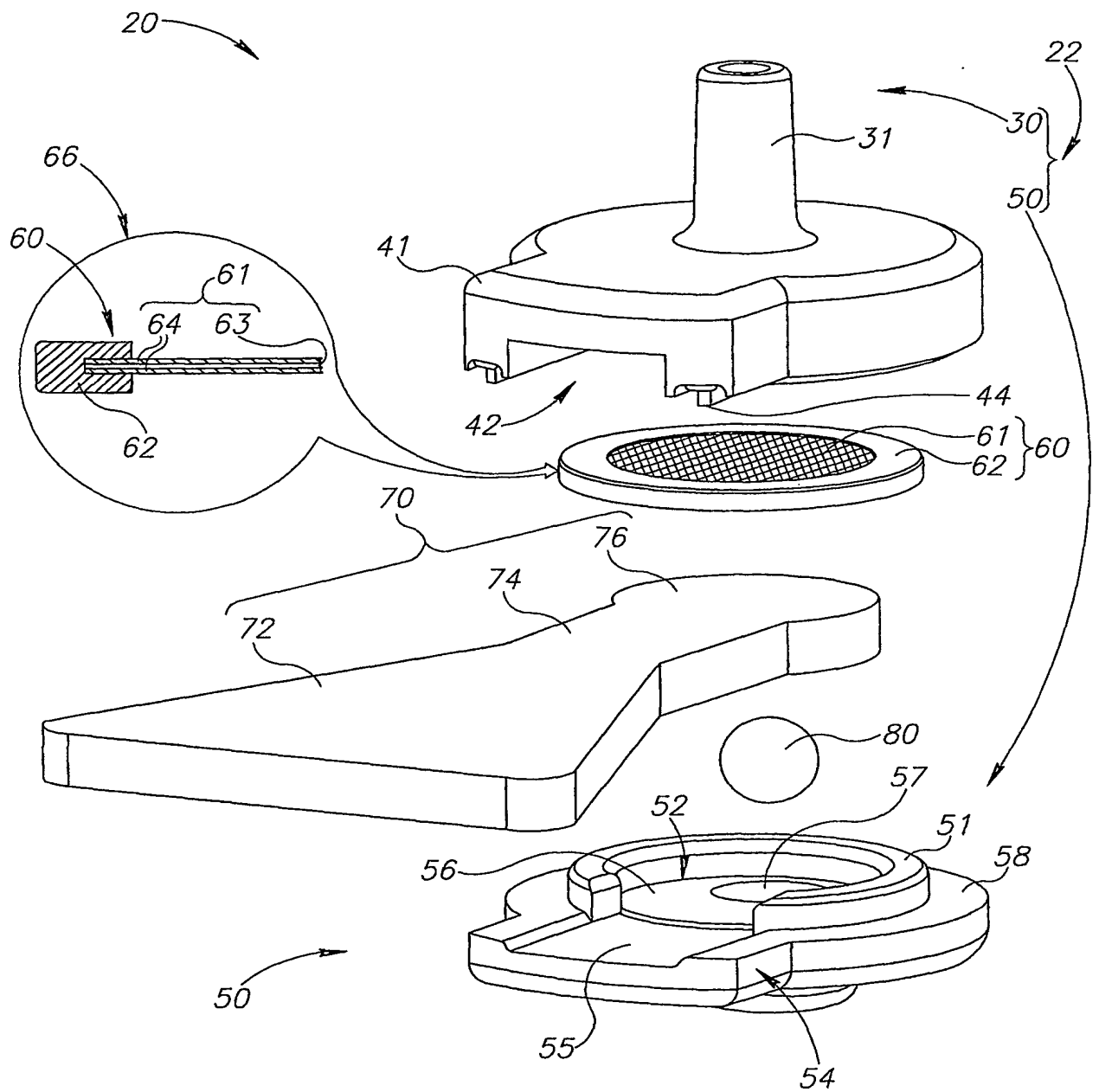


FIG.1A

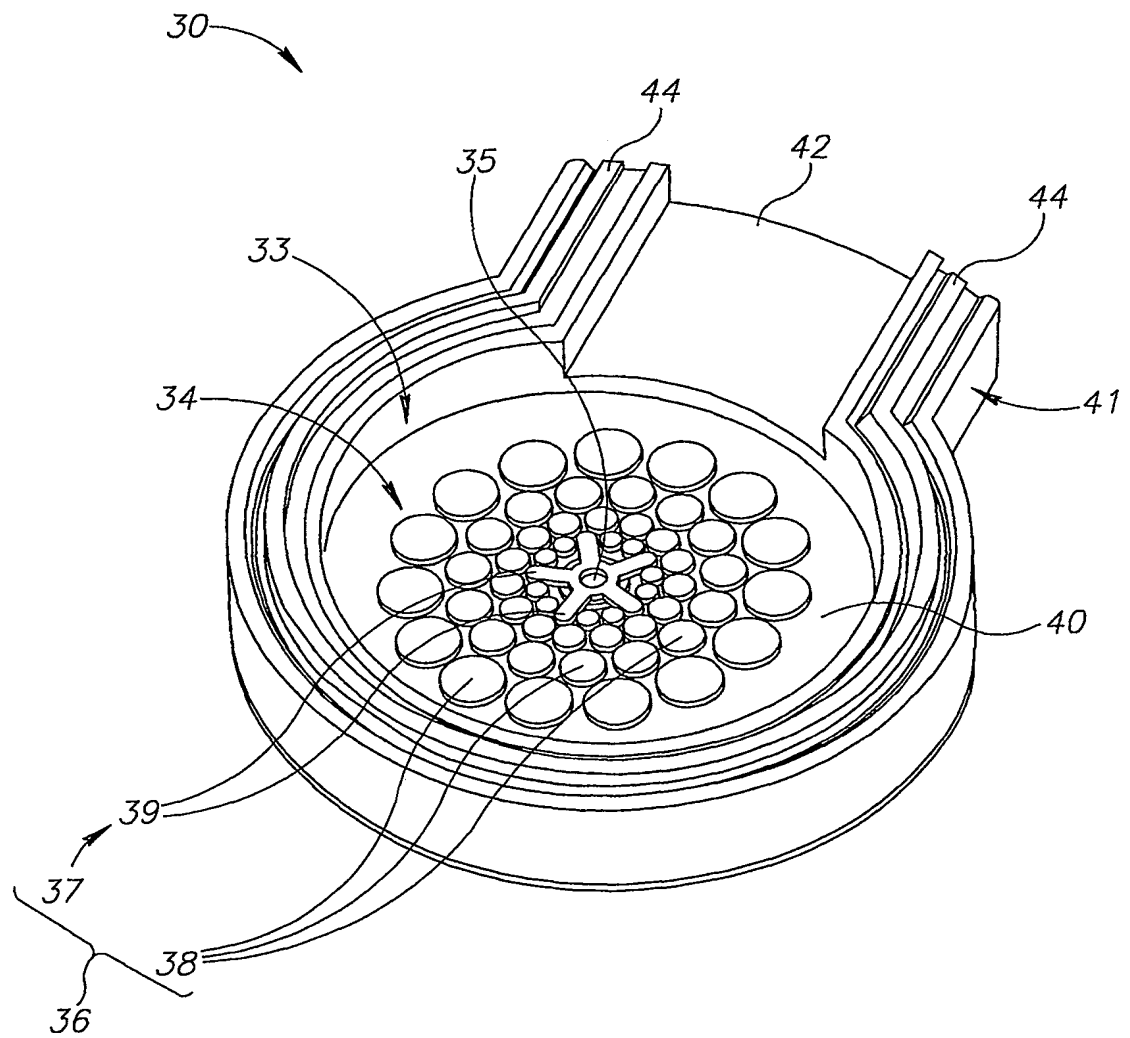


FIG. 1B

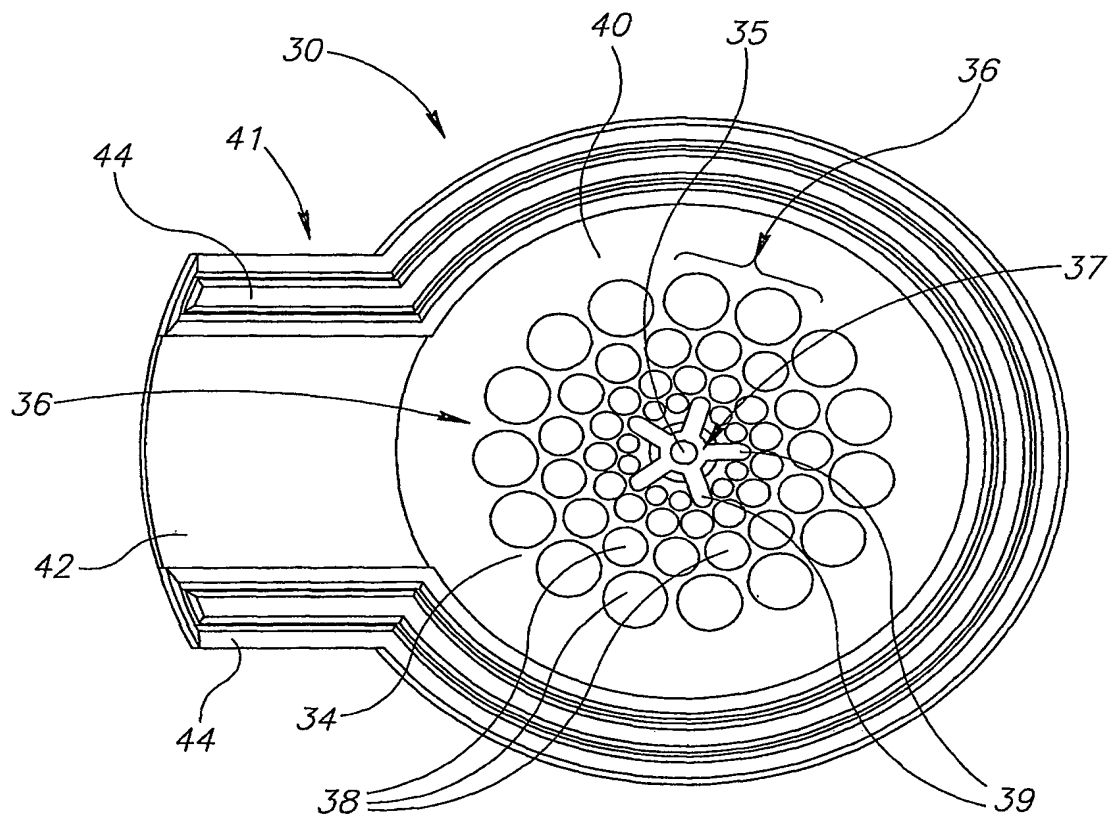


FIG.1C

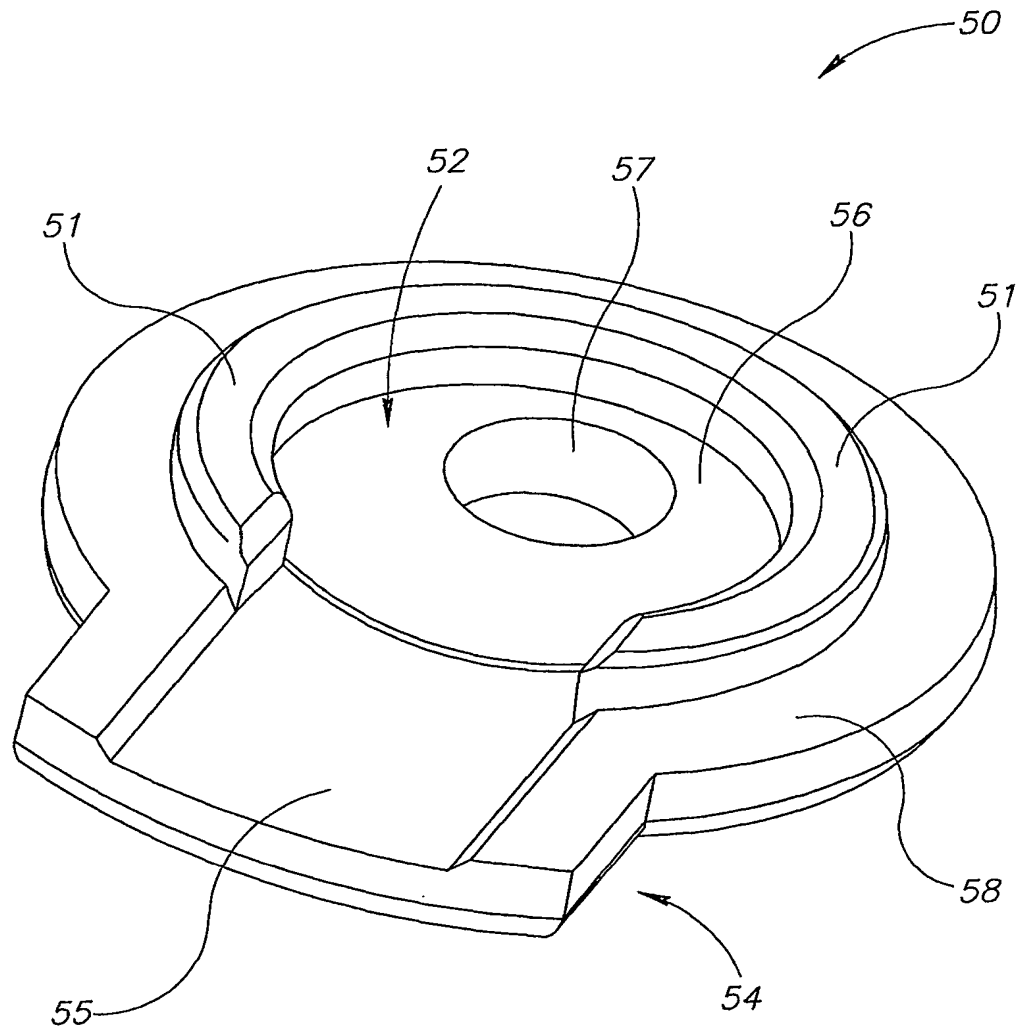


FIG. 1D

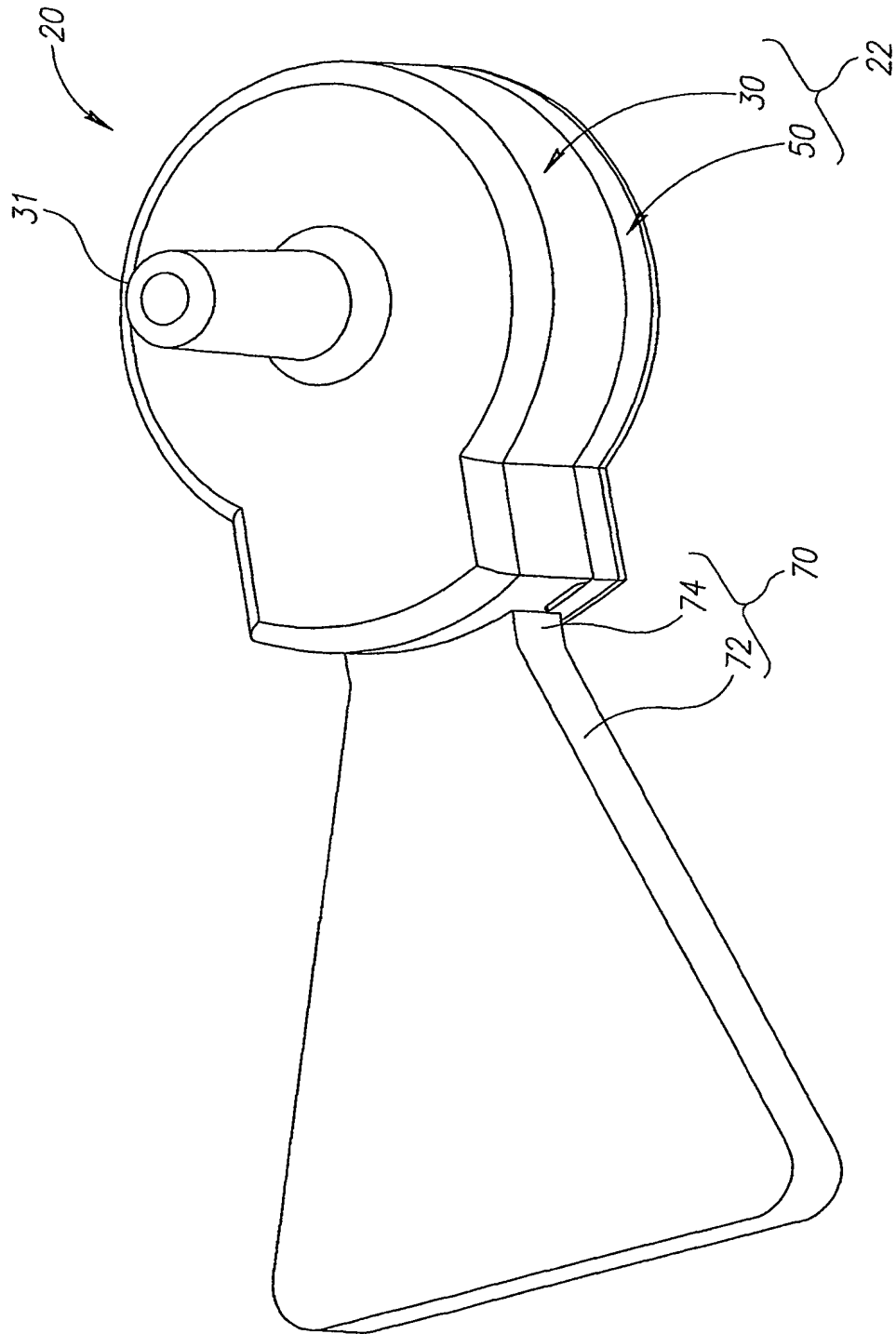


FIG. 2

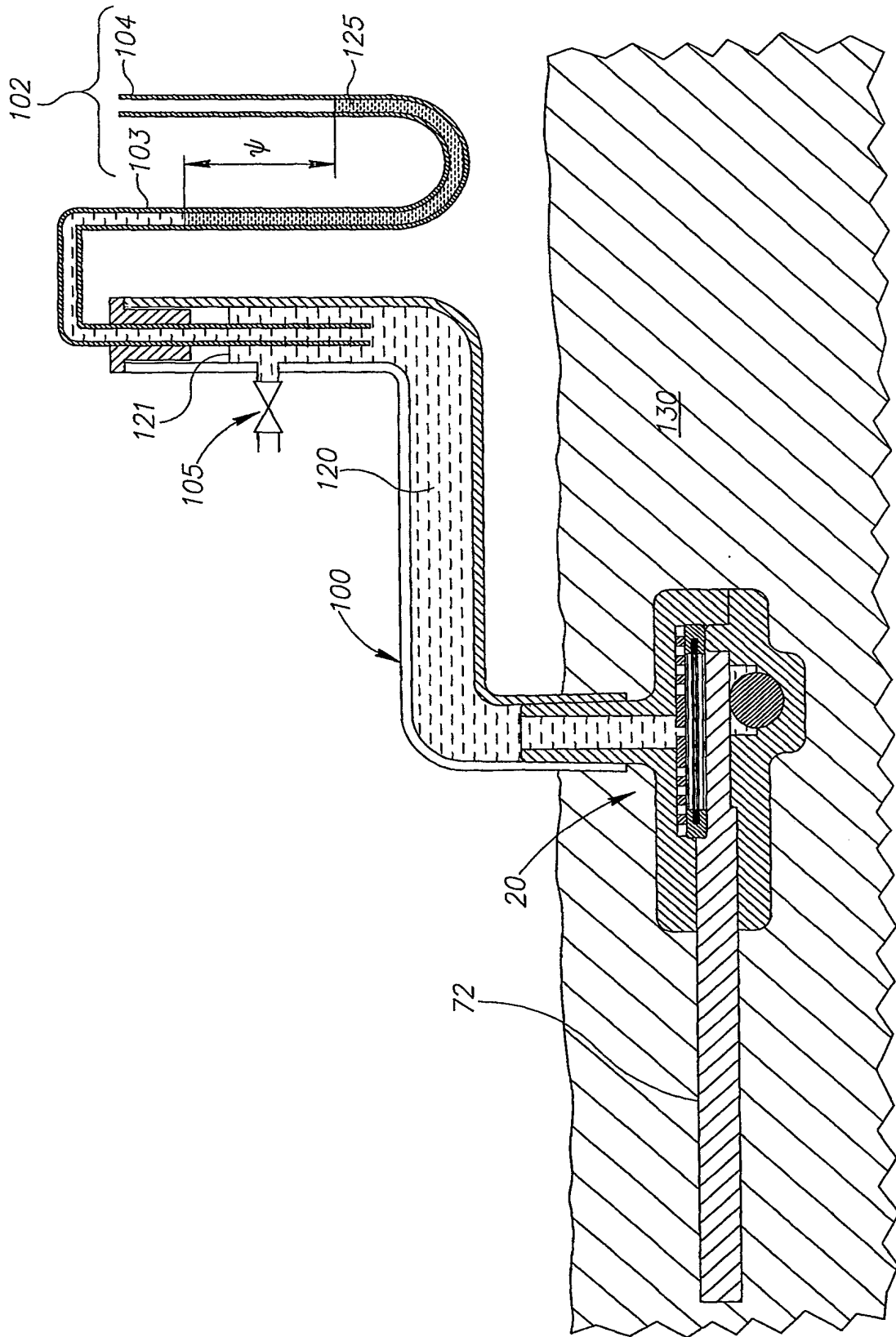


FIG.3

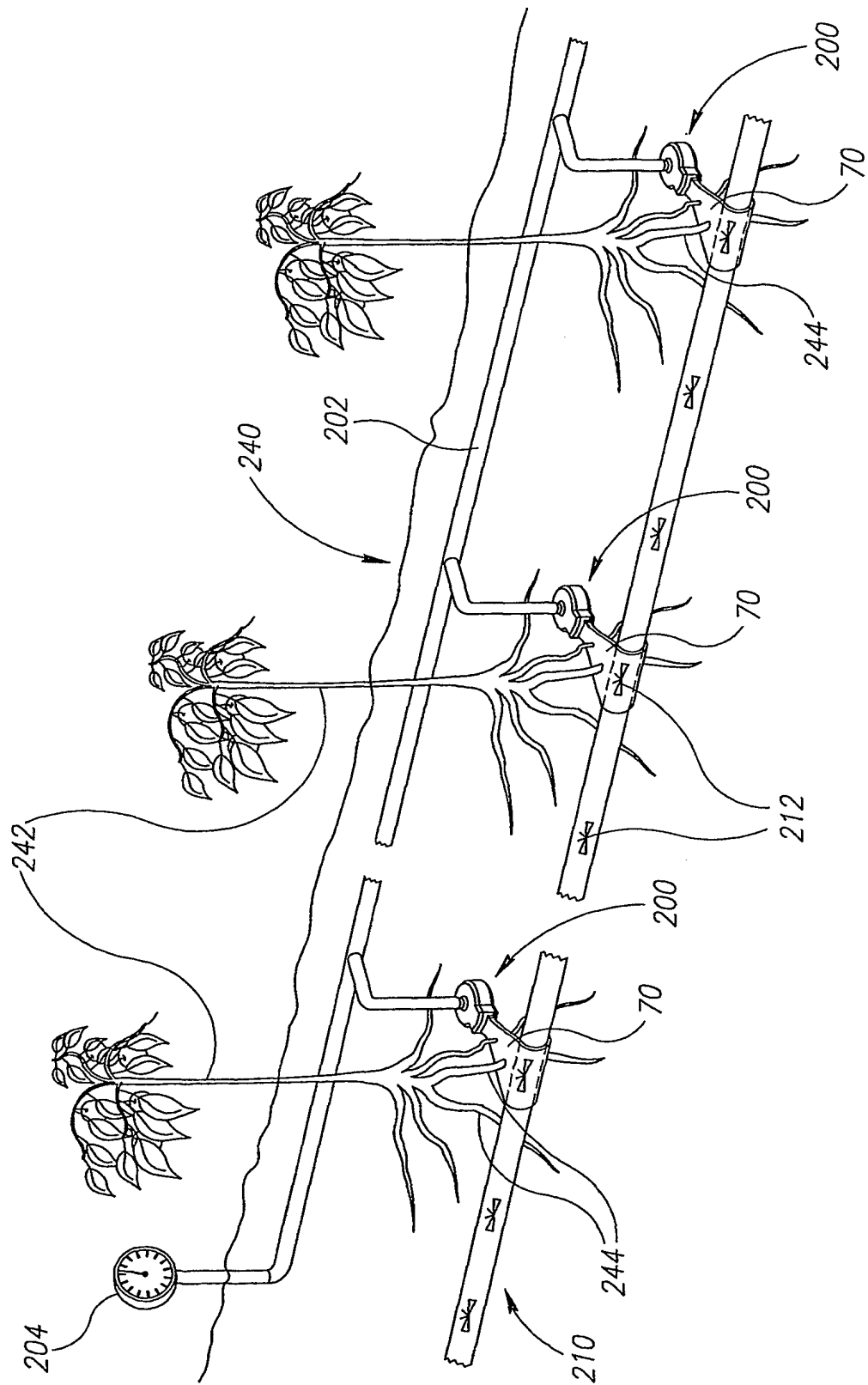


FIG.4

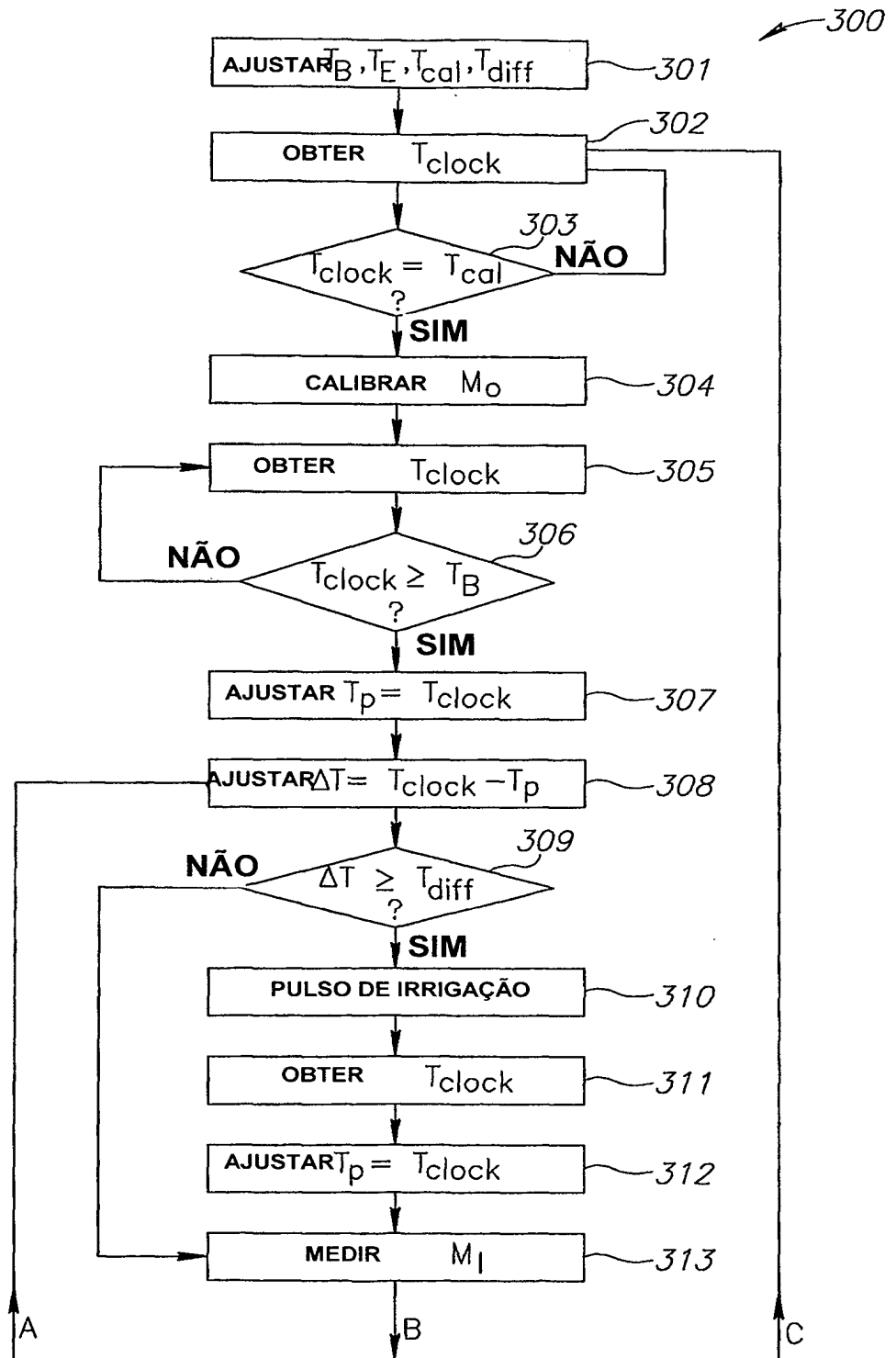


FIG.5A

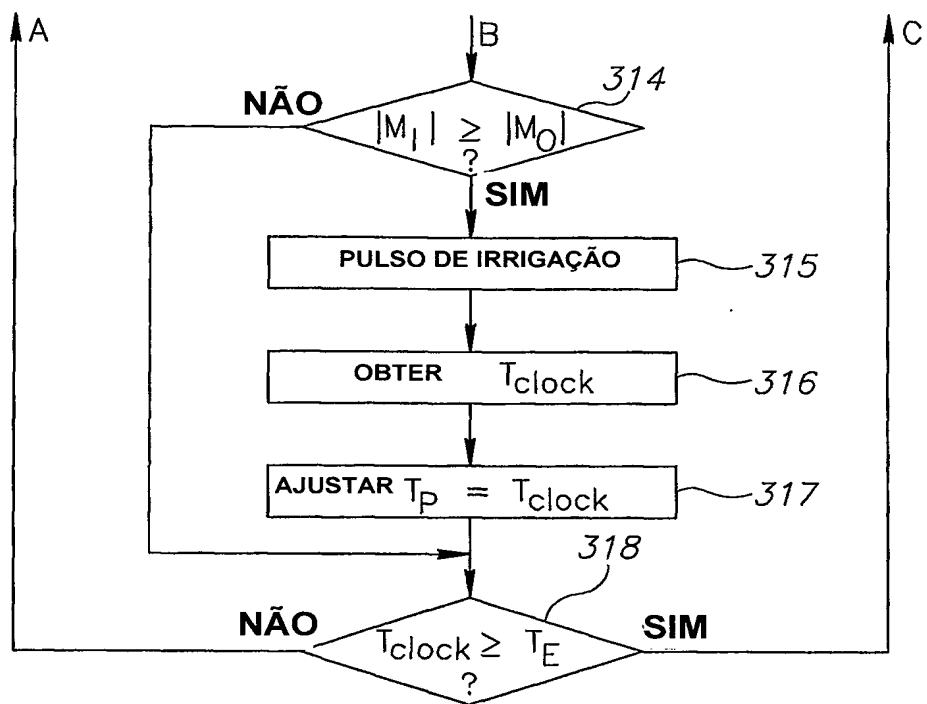


FIG.5B

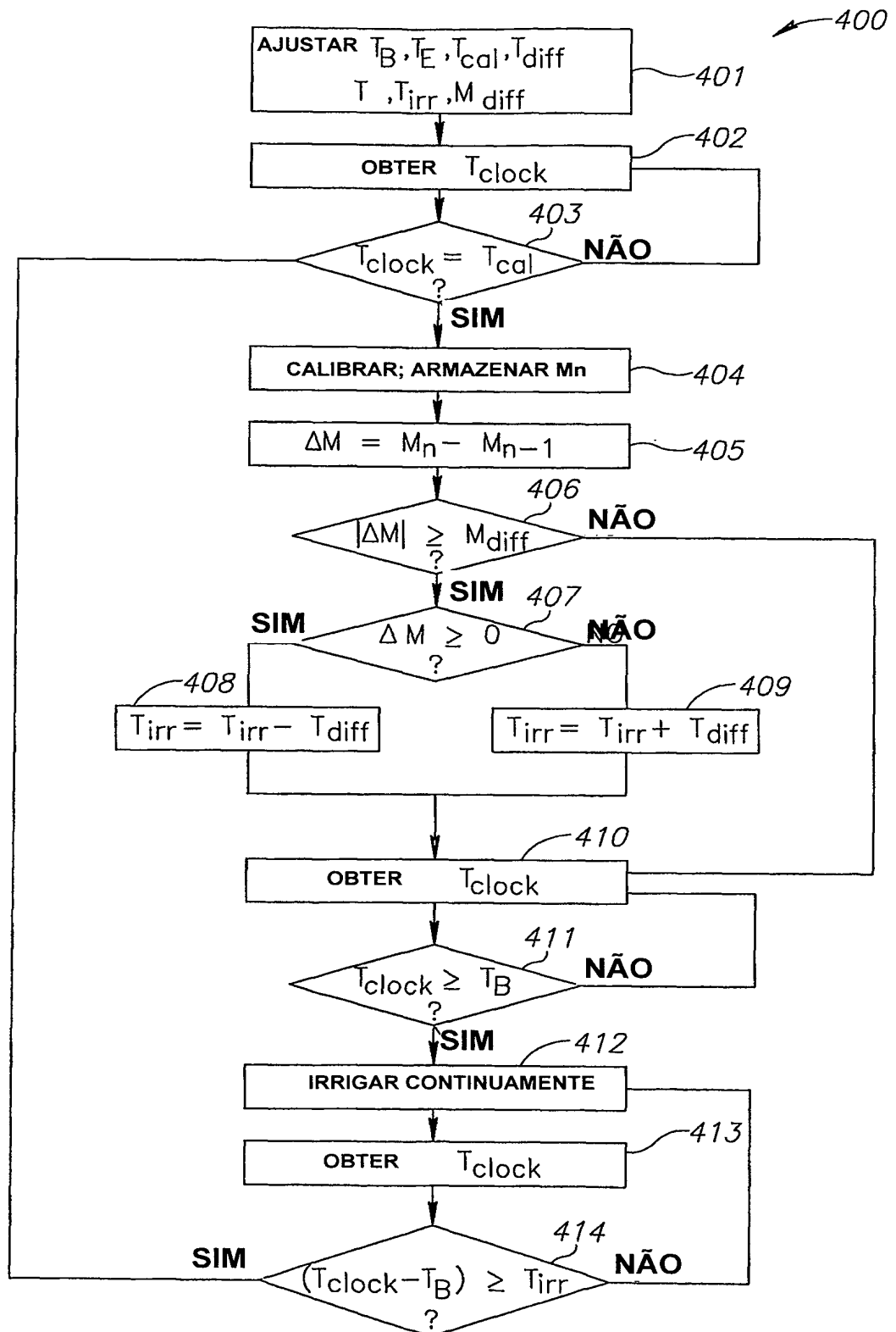


FIG.6

RESUMO**“TENSÍÔMETRO PARA USO NA DETERMINAÇÃO DE POTENCIAL CAPILAR DE UM SOLO”**

5 Um tensiômetro para uso na determinação de potencial capilar de um solo compreendendo: uma entrada de água; um acoplador hidráulico compreendendo um material poroso para prover acoplamento hidráulico entre água que entra na entrada e o solo; e um septo que veda água que entra na entrada contra ingresso de ar através do material poroso.