



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA ECONOMIA
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº BR 102015013604-8

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102015013604-8

(22) Data do Depósito: 10/06/2015

(43) Data da Publicação Nacional: 27/12/2016

(51) Classificação Internacional: G01N 3/42; A01B 76/00.

(54) Título: APARELHO AUTOMÁTICO E PROCESSO PARA MEDIÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO BASEADO NO CÁLCULO DO ÍNDICE DO CONE

(73) Titular: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS, Outras ocupações não especificadas anteriormente. Endereço: AV. ASSIS CHATEAUBRIAND, Nº 1658, SETOR OESTE, GO, BRASIL(BR), 74130-012

(72) Inventor: GEOVANNE PEREIRA FURRIEL; WESLEY PACHECO CALIXTO; AYLTON JOSÉ ALVES.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 10/06/2015, observadas as condições legais

Expedida em: 05/04/2022

Assinado digitalmente por:

Liane Elizabeth Caldeira Lage

Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados



“APARELHO AUTOMÁTICO E PROCESSO PARA MEDIÇÃO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO BASEADO NO CÁLCULO DO ÍNDICE DO CONE”.

[001] Campo e objetivos da invenção

[002] A presente invenção refere-se ao aparelho automático e processo para medição da compactação do solo baseado no cálculo do índice do cone para aferir a resistência do solo à penetração. Os dados são adquiridos através do conjunto de sensores de velocidade, tensão e corrente, georreferenciados e armazenados em *Dataloger*, possibilitando nova metodologia de análise dos dados obtidos. As medições são realizadas de forma automática e através da geometria da área a ser mapeada são calculadas as distâncias entre os pontos de coleta de dados.

[003] A invenção pode ser aplicada em diversos campos das engenharias, mensurando através do índice do cone algumas propriedades do solo e subsolo, como a compactação do solo, penetrabilidade de água e nutrientes, até mesmo a inferência da pressão de água utilizada nos sistemas de irrigação. Possibilita ao usuário tomar decisões quanto ao manejo da terra no plantio e no decorrer da safra, delimitando unidades de gerenciamento que diferencia diversos tipos de solos quanto a necessidade de utilização de insumos.

[004] Solos com alto índice de compactação necessitam de interferência direta antes do plantio, a fim de evitar prejuízos no crescimento das raízes. Este sistema pode ser utilizado para determinar locais onde há necessidade de realizar a descompactação ou aeração do solo, diminuindo: i) o tempo de preparo do solo para o plantio e ii) o gasto com a utilização de maquinário.

[005] A metodologia desenvolvida oferece modelo visual para a apresentação dos dados adquiridos, utilizando gráficos onde o gradiente de cores indica o grau de compactação do solo em profundidade.

[005] Descrição do Estado da Técnica

[006] A presente invenção utiliza sensores de corrente, tensão e velocidade em conjunto, de forma a obter a potência aplicada ao motor que por sua vez aplica carga a haste conectada ao cone de penetração. Este método se torna diferente dos demais

métodos encontrados na literatura por utilizar o valor da tensão e corrente aplicada ao motor de corrente contínua (CC) e dispensar a utilização da célula de carga.

[007] A patente BR0301801A utiliza um torquímetro para obter a força de penetração. O torquímetro utilizado é analógico, o que acarreta em perdas nas medidas e erros acumulados, como *paralaxe*, devido a aquisição de dados ser realizada de forma manual. O sistema proposto supera estas dificuldades utilizando sensores analógico/digital para obtenção de dados, alcançando precisão, confiabilidade e repetitividade nas medições, que são armazenados diretamente via no *Dataloger*.

[008] As patentes BR7001934U e BRPI0802384A2 utilizam como sistema de penetração choques mecânicos decorrentes de uma massa de referência que é suspensa manualmente em altura determinada e depois é solta sobre a haste para haver a penetração. Tal sistema resulta em baixa precisão devido ao atrito nele e a dependência do trabalho manual, onde a altura alcançada pela massa interfere diretamente na penetração resultante. A resposta é obtida de acordo com a quantidade de bateladas necessárias para a penetração, com base na massa e na altura atingida. No sistema proposto, a precisão é melhor, pois, a penetração é realizada com uso de motor de velocidade constante, que possibilita a penetração de uma haste padronizada, sugerida pela norma da *American Society of Agricultural Engineers (ASAE)* e seu *Cultural Practices Equipment Committee (CPEC)*.

[009] A patente BRPI0802918A2 apresenta adaptação de sistema de medição da compactação do solo acoplado a um trator, de forma que um motor é utilizado para realizar a penetração da haste no solo com velocidade controlada, porém a velocidade é dependente da tensão fornecida pela bateria que alimenta o sistema. Mesmo com a utilização de motor de ímã permanente, quando a bateria não fornece corrente suficiente, a tensão sofre variação, gerando diminuição da velocidade. Sendo assim, a velocidade também sofre variação, não ficando no padrão sugerido pela norma da ASAE/CPEC. No sistema proposto, a velocidade do motor é controlada pela corrente e tensão, de forma a obter velocidade de penetração constante, mesmo ao ultrapassar camadas de diferente densidade do solo.

[010] As patentes BR8200812 e BR9400892A descrevem o penetrômetro

utilizando motor para realizar a penetração. No entanto, assim como as demais, utilizam células de carga para medição da força aplicada sobre a haste. O problema é que células de cargas operam em diferentes faixas de medição, o que gera a necessidade de utilização de várias células com *range* diferente num mesmo aparelho. Isto torna impreciso as medições e promove erros. A forma de contornar este problema é a troca do cone por cones de diferentes espessuras e/ou diferentes angulações de ponta. Outro problema que está relacionado ao valor monetário das células de carga é que quanto maior a resistência da célula, maior seu custo. Os aparelhos descritos nas patentes BR8200812 e BR9400892A são projetados de forma a indicar valores de medição por centímetro. O sistema proposto tem custo reduzido por utilizar motor de corrente contínua no lugar da célula de carga. Este motor é necessário ao sistema, pois, trata-se do mesmo motor que cravará a haste no solo.

[011] As patentes CN101266238-A; CN101266238-B descrevem sistemas equivalentes utilizando apenas sensor de corrente para realizar a medição da força aplicada pelo motor, porém, é focado na utilização em laboratório. Semelhante as patentes BR8200812, BRPI0802918A2 e BR9400892A, ficam dependentes da manutenção da corrente através da bateria, o que não garante a velocidade de penetração constante. O sistema proposto prevê utilização em campo, com georreferenciamento, sistema de movimentação e posicionamento autônomo e controle da velocidade pela tensão e corrente, garantindo velocidade de penetração constante.

[012] Descrição da Invenção

[013] Este documento de patente refere-se ao sistema de medição da compactação do solo baseado na resistência à penetração calculada pelo índice do cone. Os parâmetros necessários para este cálculo são obtidos pela aquisição de dados no conjunto de sensores que realiza a medição indireta da força de penetração da haste no solo. O sistema permite autocalibração, controle de velocidade de penetração, definição dos pontos de medição de acordo com a geometria da área a ser mapeada e movimentação autônoma sobre a área.

[014] O aparelho automático, conforme Figura 1, e processo para medição da compactação do solo baseado no cálculo do índice do cone são caracterizados por

possuir fonte de alimentação (1), placa controladora (2), haste de penetração (3) movimentada por motor (4) fixado a elemento de suporte (5) e conectado à caixa de transmissão (6) acoplada a fusos de apoio (7) fixos à base de sustentação (8) com rodas (9) tracionadas por motores de deslocamento (10), com cobertura do conjunto (11) e processo de aquisição e tratamento de dados, controle de velocidade e deslocamento, de acordo com a norma do *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE) e seu *Cultural Practices Equipment Committee* (CPEC).

[015] A alimentação do sistema de aquisição de dados é realizada utilizando bateria (1) como fonte, possibilitando o uso do aparelho em campo.

[016] A placa controladora (2) realiza o armazenamento e processamento dos dados coletados. Os sensores utilizados para obtenção dos dados são interfaceados com a placa controladora (2).

[017] Os sensores medem indiretamente a força de penetração utilizando como dados tensão e corrente, assim a velocidade é mantida constante, o que garante que o cálculo da força de penetração seja preciso. A medição realizada indiretamente pelos sensores possibilita calibração quanto a efeitos externos. Outro parâmetro a ser mensurado no início do processo é o coeficiente de atrito. O valor do coeficiente de atrito é obtido utilizando a expressão [11] e conhecendo os principais parâmetros como: força tangencial aplicada, diâmetro do fuso, ângulo da rosca e peso do conjunto em movimento, formado por haste de penetração (3), motor (4), elemento de suporte (5) e caixa de transmissão (6).

[018] O sistema de controle e aquisição de dados (embarcado) realiza o cálculo do posicionamento do aparelho sobre a superfície do terreno a ser mapeado. Através destes cálculos e sabendo a escala no mapa é possível mensurar a quantidade de pontos a serem realizadas coletas de dados.

[019] A força aplicada na haste de penetração (3) pelo motor (4) é transmitida pela árvore de transmissão, composta por: caixa de transmissão (6) e fusos de apoio (7), de forma a realizar a transferência da potência gerada pelo motor (4) em potência linear para haste de penetração (3), para realizar a penetração no solo. Todo o aparelho tem eletrônica embarcada e mecanismos mecânicos envolvidos em uma cobertura, conforme

ilustrado na Figura 2. Os cálculos utilizados baseiam-se nas expressões de [1] à [17]:

[020] **Transmissão de velocidade:** A velocidade linear v de um acoplamento mecânico direto tipo engrenagem é a mesma para todos os pontos periféricos, pois não há escorregamento. Assim tem-se que:

$$v = r_1\omega_1 = (2r_1/2) \cdot (n_1\pi/30) = (\varphi_1 n_1 \pi / 60) \quad [1]$$

onde r_1 é o raio da engrenagem motora, φ_1 é o diâmetro da engrenagem motora, ω_1 a velocidade angular em rad/s e n_1 a velocidade angular em rpm .

[021] Analogamente para engrenagem movida tem-se que:

$$v = r_2\omega_2 = (2r_2/2) \cdot (n_2\pi/30) = (\varphi_2 n_2 \pi / 60) \quad [2]$$

onde r_2 é o raio da engrenagem movida, φ_2 é o diâmetro da engrenagem movida, ω_2 a velocidade angular em rad/s e n_2 a velocidade angular em rpm .

[022] Comparando as expressões anteriores obtém-se a relação:

$$\varphi_1 n_1 = \varphi_2 n_2 \quad [3]$$

[023] **Transmissão de torque:** O torque M é igual ao produto da força tangencial pelo raio da engrenagem, $M = F_t r$, onde F_t é a força tangencial aplicada à engrenagem e r é o raio da engrenagem. Como não há escorregamento entre as engrenagens, tem-se que a força tangencial (F_t) é a mesma:

$$F_t = (M_1/r_1) = (M_2/r_2) \quad [4]$$

desta forma, variando o raio, pode-se aumentar ou diminuir o torque resultante.

[024] **Árvore de transmissão:** São dispositivos utilizados para transformar movimento angular em movimento linear, transmitem potência, do sistema de potência rotórica, em movimento linear.

[025] Para encontrar a expressão do torque requerido para movimentar a carga, é necessário a análise da distribuição de força do sistema. Para isto tem-se as expressões das forças do sistema em equilíbrio. Para elevação do conjunto, na horizontal tem-se [5] e na vertical tem-se [6].

$$\sum F_H = P_r - N \cdot \text{sen}(\lambda) - f \cdot N \cdot \text{cos}(\lambda) = 0 \quad [5]$$

$$\sum F_v = F + f \cdot N \cdot \text{sen}(\lambda) - N \cdot \text{cos}(\lambda) = 0 \quad [6]$$

para abaixamento do conjunto, na horizontal tem-se [7] e na vertical tem-se [8]

$$\sum F_H = -P_r - N.\text{sen}(\lambda) + f.N.\text{cos}(\lambda) = 0 \quad [7]$$

$$\sum F_V = F - f.N.\text{sen}(\lambda) - N.\text{cos}(\lambda) = 0 \quad [8]$$

[026] Utilizando as expressões anteriores, com manipulações algébricas obtém-se a expressão [9]

$$T_r = (F.d_m/2) \cdot [(l + \pi.f.d_m.\text{sec}(\lambda)) / (\pi.d_m - \rho.l.\text{sec}(\lambda))] \quad [9]$$

[027] Considerando valor de referência a força F obtida com a aplicação do torque T_r de [9] tem-se [10].

$$F = (2T_r/d_m) [(\pi.d_m - \rho.l.\text{sec}(\lambda))/(l + \pi.f.d_m.\text{sec}(\lambda))] \quad [10]$$

onde F é a força aplicada verticalmente devido ao torque T_r , d_m é o diâmetro nominal do fuso, ρ é o passo, f é o coeficiente de atrito, λ o ângulo de entrada do fuso.

[028] **Motor:** O motor de corrente contínua de ímã permanente oferece benefícios comparados com os motores *shunt*, por não necessitar de campo externo. Assim sendo, não apresentam perdas associadas ao enrolamento. Este motor é particularmente útil em servomecanismos devido à linearidade das suas características torque/velocidade e elevados torques de aceleração. As expressões equivalentes deste tipo de motores são dadas por:

$$V = L_a(\partial I_a/\partial t) + (R.I_a) + (K_g\omega) \quad [11]$$

onde L_a é a indutância dos enrolamentos do estator; I_a é a corrente nos enrolamentos do estator; T_g é o torque gerado pelo motor; E_g a força contra-eletromotriz (f.c.e.m.) que é a tensão gerada internamente proporcional à velocidade ω , isto é:

$$E_g = K_g\omega. \quad [12]$$

[029] Devido ao campo magnético ser constante a expressão eletromecânica é dada por:

$$T_g = K_T I_a \quad [13]$$

[030] Ao torque gerado T_g , opõem-se uma série de torques. Alguns tem origem dentro do motor, como T_f (torque constante de atrito) e J_m , originado pelo momento de inércia do motor J_m . Outros torques são originados pela carga, tais como o torque de inércia da carga ($J_L\partial\omega/\partial t$), torque de atrito viscoso da carga ($K_v\omega$) e o torque resistente da carga (T_L). Desta forma, analiticamente, tem-se:

$$T_g = (J_m + J_l)\partial\omega/\partial t + K_v\omega + T_f + T_L \quad [14]$$

[031] Quando a velocidade decresce, o torque gerado pelo motor aumenta sem a realimentação interna ($K_g = 0$). A expressão que relaciona T_g e a velocidade em regime estacionário é dada por:

$$V = (R/K_t) \cdot T_g + K_g\omega \quad [15]$$

[032] Se $\omega = 0$, então, tem-se:

$$T_g = T_{gs} = V \cdot K_t / R \quad [16]$$

onde T_g é o torque produzido pelo motor e é conhecido por torque de aceleração ou torque no arranque e ω_n é a velocidade sem carga.

[033] Para obter a resistência a penetração no solo é utilizado o fator de ponta expresso por [17].

$$Res = K_g F / A \quad [17]$$

onde Res é a resistência à penetração no solo, dada em kPA ; $K_g F$ é a força vertical aplicada pelo motor, A é a área da ponta utilizada, seguindo a normatização do ASAE/CPEC.

[034] As figuras que representam o sistema são:

Figura 1 – Penetrômetro sem a cobertura do conjunto.

Figura 2 – Penetrômetro com a cobertura do conjunto.

REIVINDICAÇÕES

1. Aparelho automático para medição da compactação do solo baseado no cálculo do índice do cone CARACTERIZADO POR possuir fonte de alimentação (1), placa controladora (2) com sensores acoplados, haste de penetração (3) movimentada por motor (4) fixado ao elemento de suporte (5) e conectado à caixa de transmissão (6) acoplada a fusos de apoio (7) fixos à base de sustentação (8) com rodas (9) tracionadas por motores de deslocamento (10), com cobertura (11) do conjunto que realiza controle da velocidade pela tensão e corrente, garantindo velocidade de penetração constante, e medição da força de penetração no solo utilizando a variação da corrente e tensão do motor (4).
2. Aparelho automático para medição da compactação do solo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR utilizar fonte de alimentação (1) do tipo bateria, com tensão mínima de 12V e capacidade de carga em torno de 30Ah.
3. Aparelho automático para medição da compactação do solo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir placa controladora (2) de armazenamento e processamento de dados, com microcontrolador, memória, display, interface serial de comunicação interna, com os sensores, e externa, por radiofrequência.
4. Aparelho automático para medição da compactação do solo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir sensor de corrente, sensor de velocidade, sensor de deslocamento, sistema de posicionamento global, sensor de tensão e conversor analógico digital.
5. Aparelho automático para medição da compactação do solo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir motores (4) e (10) de corrente contínua.

6. Aparelho automático para medição da compactação do solo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR possuir elemento de suporte (5) do motor (4) acoplado aos fusos de apoio (7).

7. Aparelho automático para medição da compactação do solo, de acordo com a reivindicação 1, CARACTERIZADO POR utilizar caixa de transmissão (6) com engrenagem motriz acoplada ao motor (4), engrenagens motoras acopladas aos fusos de apoio (7) e rolamentos.

8. Processo de medição da compactação do solo utilizando aparelho automático, descrito nas reivindicações de 1 a 7, CARACTERIZADO POR realizar aquisição, tratamento e apresentação de dados, autocalibração, controle de velocidade e deslocamento, de acordo com a norma do *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE) e seu *Cultural Practices Equipment Committee* (CPEC), e ser executado através de sistema embarcado com as seguintes funcionalidades:

a. Aquisição de dados - coleta a partir de medições de velocidade, tensão, corrente e profundidade de penetração e armazenamento georeferenciado;

b. Processamento de dados - cálculo de compactação do solo com base nos valores de corrente, tensão e velocidade armazenados;

c. Controle de velocidade de penetração - manutenção da velocidade de penetração da haste no solo como indicada na norma;

d. Autocalibração - cálculo do coeficiente de atrito a partir do peso do conjunto composto por elemento de suporte (5), motor (4), caixa de transmissão (6) e haste (3);

e. Definição dos locais de medição - cálculo das distâncias entre os pontos de coleta de dados necessária para discretização da área a ser medida;

f. Apresentação dos dados - geração de gráficos tridimensionais (3D) relacionando a geometria do terreno com o valor da compactação do solo.

FIGURAS

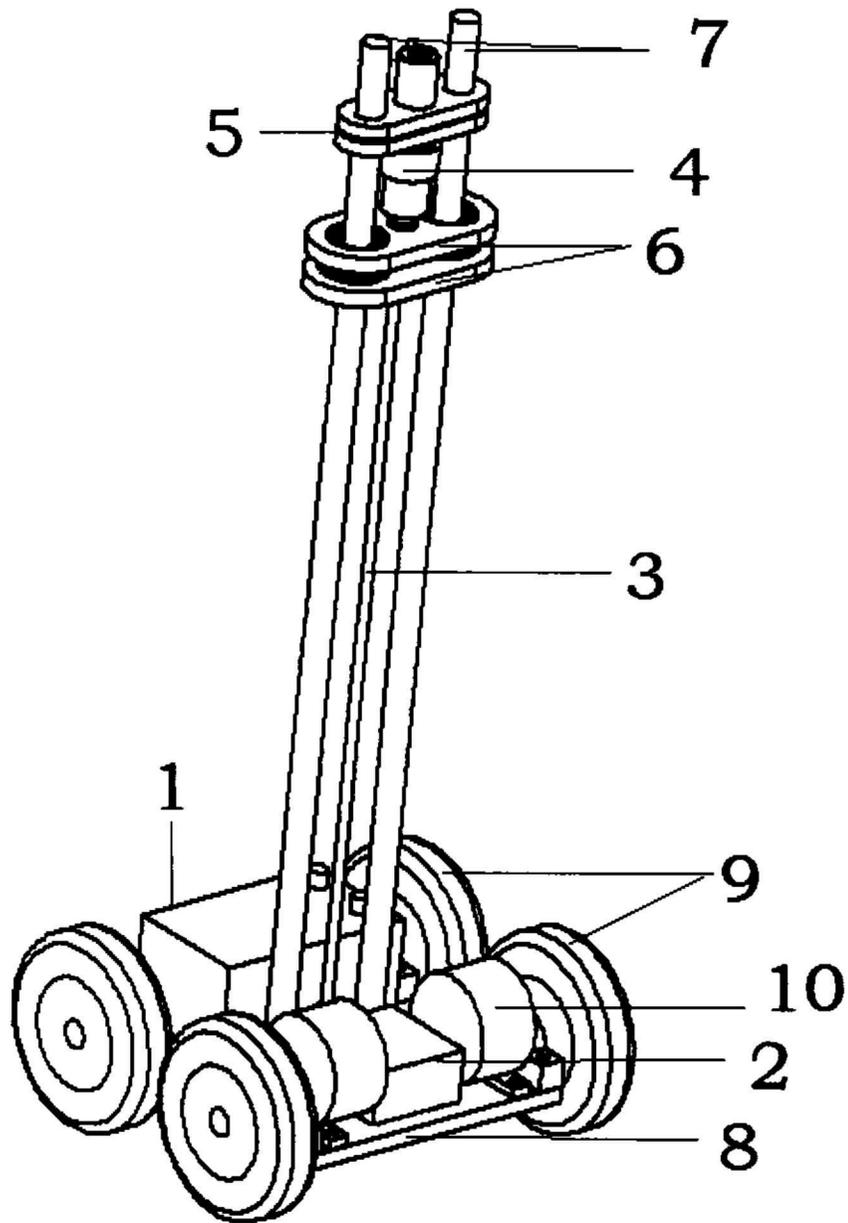


FIGURA 1

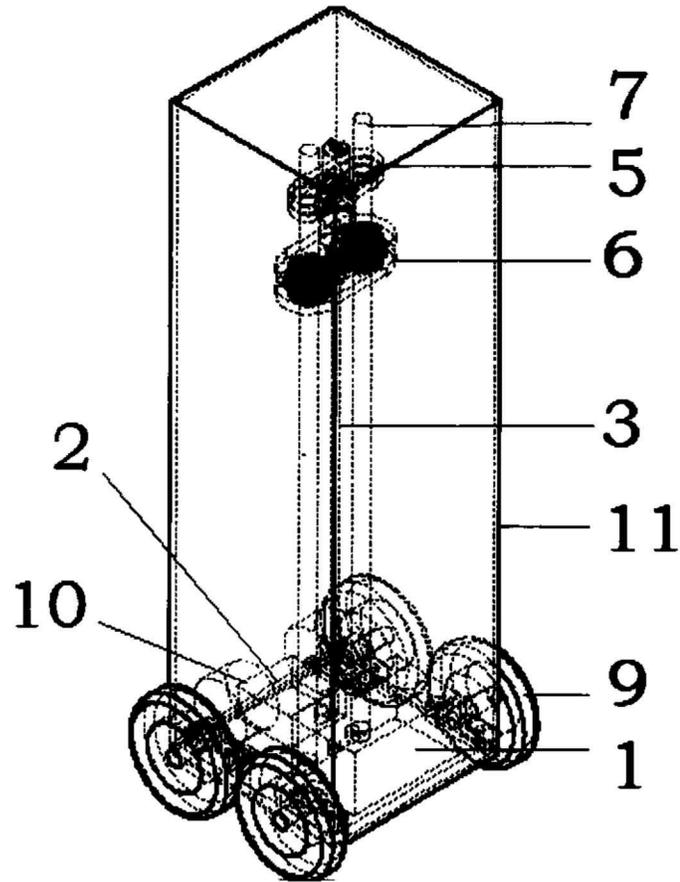


FIGURA 2