



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

## CARTA PATENTE Nº PI 0805698-6

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:** PI 0805698-6

**(22) Data do Depósito:** 18/12/2008

**(43) Data da Publicação do Pedido:** 14/09/2010

**(51) Classificação Internacional:** G01C 9/00.

**(54) Título:** INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO, SISTEMA PARA MEDIÇÃO DA INCLINAÇÃO E MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

**(73) Titular:** UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. CGC/CPF: 75095679000149. Endereço: RUA JOÃO NEGRÃO, 280 2º ANDAR, Centro, Curitiba, PR, BRASIL(BR), 80010-200

**(72) Inventor:** PAULO CÉSAR LOPES KRELLING.

**Prazo de Validade:** 10 (dez) anos contados a partir de 01/10/2019, observadas as condições legais

**Expedida em:** 01/10/2019

Assinado digitalmente por:

**Liane Elizabeth Caldeira Lage**

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



## “INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO, SISTEMA PARA MEDIÇÃO DA INCLINAÇÃO E MÉTODO DE CALIBRAÇÃO”

001 A presente invenção pertence ao campo técnico de medição de inclinações, mais especificamente um equipamento destinado à mensuração indireta de deslocamentos bidimensionais correspondentes à variação de inclinação de obras de engenharia tais como pontes, prédios, reservatórios de usinas, silos etc.

### ESTADO DA TÉCNICA

002 O estado da técnica sobre patentes revela equipamentos que envolvem inclinômetros, contudo, por vezes não apresentam uma resolução e precisão necessárias. Os inclinômetros encontrados no estado da técnica, por vezes se destinam apenas à observação da inclinação de barcos, aviões, veículos autopropulsados (carros, caminhões etc.) enquanto outros estão destinados à aplicação ortopédica e/ou médica, ou ainda são de emprego em carpintaria e serviços de pedreiros. Alguns dos equipamentos do estado da técnica dispõem de sistemas eletrônicos que empregam sensores foto elétricos da movimentação ou outro processo assemelhado, onde a percepção de deslocamentos se dá pelo estímulo foto elétrico de componentes eletrônicos construídos para este fim (foto diodos).

003 Em particular, o documento US3717935 descreve um inclinômetro que apresenta um deslocamento articulado, e cuja inclinação é lida através de um sistema de leitura óptica, enquanto o documento US2008/0271329 apresenta um pêndulo que tem na parte superior de sua massa um emissor de luz direcionado para três sensores inclinados

### PROBLEMA TÉCNICO

004 O controle de estruturas tem grande importância e cresce à medida que tais obras aumentam de tamanho. O rompimento de uma barragem, por exemplo, pode ocasionar danos irreparáveis ao meio ambiente além de ocasionar a perda de vidas humanas, não só no momento imediato à ocorrência, mas também, a curto e médio prazo dependendo da composição e impacto dos efluentes envolvidos. A queda de um edifício ou ponte pode causar um número de perdas humanas de magnitude

elevada. Encostas de morros e aterros também estão sujeitos às forças da natureza e, dada à grandeza de suas extensões, volumes e peso, podem gerar acidentes de grandes proporções, tornando-se necessária a monitoração contínua de seu estado.

### SOLUÇÃO TÉCNICA

005 O inclinômetrofoto-mecânico é um equipamento destinado ao monitoramento de deslocamentos relativos em edificações e/ou estruturas de engenharia civil. Destina-se à medição da variação angular da inclinação de obras de engenharia como edificações, pontes, prédios, muros, represas, e outros tipos de construção, onde seja necessário o acompanhamento contínuo ou do comportamento da estrutura. O estado da técnica não motivaria a desenvolver um inclinômetro usando um mouse óptico e uma haste amplificadora tal como proposto pela presente invenção.

006 Na presente invenção, o inclinômetrofoto-mecânico permite a detecção de deslocamentos em qualquer direção no ambiente bidimensional, cujos eixos principais do sistema de coordenadas (implícitos do sensor) poderão ser orientados paralela e perpendicularmente à superfície da estrutura em estudo ou segundo direções de interesse do observador.

### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

007 A Figura 1A apresenta o esquema de funcionamento do inclinômetrofoto-mecânico, antes da inclinação.

008 A Figura 1B apresenta o esquema de funcionamento do inclinômetrofoto-mecânico, após a inclinação.

009 A Figura 2 apresenta o esquema geral do inclinômetrofoto-mecânico.

0010 A Figura 3 apresenta o esquema geral de montagem do inclinômetrofoto-mecânico.

0011 As Figuras 4A, 4B e 4C apresentam, respectivamente, as vistas lateral, frontal e superior da estrutura principal do inclinômetrofoto-mecânico.

0012 As Figuras 5A, 5B e 5C apresentam, respectivamente, as vistas lateral, frontal e superior dos fixadores (fixados à superfície a ser observada).

0013 As Figuras 6A, 6B e 6C apresentam, respectivamente, as vistas lateral, frontal e superior dos fixadores (fixados à estrutura principal).

0014 As Figuras 7A, 7B e 7C apresentam, respectivamente, as vistas lateral, frontal e superior dos suportes.

0015 As Figuras 8A e 8B apresentam a estrutura do pêndulo principal.

0016 As Figuras de 9A a 9F apresentam, respectivamente, as vistas superior, inferior, frontal, lateral esquerda, posterior e lateral direita do sistema do conector magnético entre alavancas.

0017 As Figuras de 10A a 10D apresentam, respectivamente, as vistas superior, inferior, lateral equatro secções horizontais da vista lateral do ímã ranhurado.

0018 As Figuras de 11A a 11D apresentam, respectivamente, as vistas lateral, frontal, superior e inferior do suporte do sensor óptico.

0019 As Figuras 12A a 12G apresentam, respectivamente, as vistas superior, inferior, frontal, lateral esquerda, posterior, lateral direita e perspectiva do apoio da alavanca secundária.

0020 A Figura 13 apresenta o modelo de base para calibração.

0021 A Figura 14 apresenta as movimentações Esperada (A) e Observada (B) do pêndulo principal na calibração.

#### DESCRIÇÃO DE NUMERAIS

1 – Inclinômetro foto-mecânico

2 – Superfície a ser observada

3 – Pêndulo principal

4 – Estrutura principal

5 – Alavanca secundária (haste amplificadora)

6 – Sensor de movimento

7 – Fixador (fixado à superfície)

8 – Fixador (fixado à estrutura principal)

9 – Suporte superior (apoio do pêndulo principal)

10 – Suporte intermediário (suporte do sensor óptico)

11 – Suporte inferior (suporte da alavanca secundária)

- 12 – Lastro da alavanca principal
- 13 – Conector magnético (transmissão do movimento entre alavancas)
- 14 – Apoio da alavanca secundária
- 15 – Estimulador do sensor óptico
- 16 – Haste metálica intercambiável
- 17 – Conector
- 18 – Agulha
- 19 – Ímã ranhurado cilíndrico para conexão magnética entre alavancas
- 20 – Lâmina em acrílico para fixação do ímã ranhurado cilíndrico
- 21 – Trava anti-rotação
- 22 – Bucha de fixação
- 23 – Parafuso de fixação à parede
- 24 – Parafusos, arruelas e porcas de fixação
- 25 – Lâmina de calibração
- 26 – Mola de calibração
- 27 – Barras verticais
- 28 – Canaletas em formato de “U”
- 29 – Elementos transversais
- 30 – Lâmina de acrílico para fixação do sensor
- 31 – Lâmpada laser
- 32 – Circuito eletrônico
- 33 – Receptor do laser
- 34 – Superfície estimuladora
- 35 – Lâmina de acrílico
- 36 – Ímã
- 37 – Janela de proteção do laser
- 38 – Bloco em acrílico
- 39 – Ímã cilíndrico
- 40 – Apoios
- 41 – Base de fixação

## DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

0022 O princípio de funcionamento do inclinômetrofoto-mecânico(1) baseia-se no fato de que havendo uma variação da inclinação da superfície (2) a ser observada, e à qual o equipamento está fixado, ocorrerá por consequência uma movimentação relativa entre o pêndulo principal (3) e a estrutura principal (4) do equipamento. Como este pêndulo principal (3) está conectado magneticamente à alavanca secundária (5), que funciona como uma haste amplificadora, o movimento por ele experimentado ser-lhe-á transmitido e, devido às características de alavanca que a alavanca secundária (5) possui, também será amplificado. Na extremidade livre da alavanca secundária (5) é fixada uma superfície paralela ao sensor de movimento (6) de forma a estimulá-lo com o movimento da alavanca secundária (5). O esquema completo do funcionamento pode ser observado nas Figuras 1A e 1B.

0023 O inclinômetrofoto-mecânico (1) aqui proposto é constituído basicamente pelas seguintes componentes: uma estrutura principal (4) em forma linear; dois grupos de dois fixadores (7 e 8) para prender a estrutura principal (4) à superfície (2) a ser observada; um grupo de três suportes (9, 10 e 11), também presos à estrutura principal (4), destinado a sustentar os demais componentes do equipamento; um pêndulo principal (3) apoiado no suporte superior(9); um sensor de movimento (6) fixo ao suporte intermediário (10) e uma alavanca secundária (5) apoiada no suporte inferior (11). A disposição dos elementos componentes do equipamento pode ser observada nas Figuras 1, 2 e 3.

0024 A estrutura principal (4) do inclinômetrofoto-mecânico (1) pode ser composta de um tubo de perfil oval conforme apresentado nas Figuras 4A, 4B e 4C, com comprimento compatível com a necessidade (local disponível para instalação, ampliação necessária, etc.). No protótipo foi adotado o comprimento de 1,20m.

0025 Os fixadores (7 e 8) e os suportes (9, 10 e 11) estão descritos nas Figuras 5A a 5C; 6A a 6C; e 7A a 7C, e suas dimensões poderão variar conforme a necessidade para instalação do equipamento.

0026 O pêndulo principal (3) (Figuras 8A e 8B) é constituído por duas barras verticais (27) paralelas, canaletas em formato de “U” (28) com comprimento

de 1,50m e aberturas voltadas para dentro, unidas por dois elementos transversais (29) do mesmo material, de aproximadamente 0,06m de comprimento, de maneira a formar um objeto com o formato da letra “A”. O comprimento total do pêndulo poderá variar em função da força necessária para mover a alavanca secundária. A separação entre os elementos transversais também pode variar em função do comprimento da alavanca secundária, uma vez que esta precisa espaço para sua movimentação. Ao pêndulo principal (3) é fixado o conector magnético (13), Figura 8, que transmitirá os movimentos entre o pêndulo principal (3) e a alavanca secundária (5), o que elimina a existência de “folgas” durante a movimentação.

0027 Todas as dimensões apresentadas poderão variar de acordo com disponibilidade de material e fatores externos.

0028 O sensor de movimento (6) é composto por um “mouse óptico”, comumente empregado em computadores. Na presente invenção, este dispositivo apresenta resoluções nominais variáveis de 400 a até 3600 pulsos por polegada de deslocamento, que equivale à emissão de um pulso a cada 0,007 mm (aproximadamente) de movimento ocorrido. Este sensor emite pulsos a partir da comparação de imagens do estimulador por ele captadas, em número e direções correspondentes à magnitude e orientação do deslocamento. Há limitações na frequência em que tais pulsos são emitidos o que limita a frequência em que as observações podem ser coletadas. A atualização das informações é da ordem de 1000 Hz, o que limita o intervalo de observações para 1/1000 do segundo.

0029 Isto, no entanto é mais que suficiente para a aplicação a que se propõe o invento. Os mouses ópticos poderão ser do tipo PS2 ou Serial quando cada inclinômetro estiver conectado a um computador. Quando vários inclinômetros estiverem ativos e conectados a um único computador aqueles deverão ser de conexão USB, e o computador adequado deverá ser utilizado para executar a identificação, leitura, decodificação, armazenamento e disponibilização de dados.

0030 Considerando-se a altura da edificação, a resolução com que se desejam as observações (mm) e a resolução do sensor óptico disponível pode-se, mediante um cálculo aproximado, determinar qual o ganho necessário da alavanca secundária (5).

Isto equivale a dizer que um mesmo equipamento poderá ser empregado para diversos trabalhos diferentes, bastando trocar a alavancasecundária (5). Além disto, com aquelas informações, pode-se ainda, redimensionar o equipamento (comprimento dos seus componentes) e/ou analisar a resolução atingível com o equipamento disponível.

0031 Com o cálculo aproximado da ampliação necessária a ser produzida pela alavanca secundária (5) para observar a movimentação segundo a resolução desejada, instala-se o equipamento no local desejado e procede-se ali mesmo à sua calibração, após aguardar um período de aclimatação ao ambiente. Para isto introduz-se uma inclinação conhecida (pode-se usar lâminas de calibração aplicadas em mecânica de automóveis, por exemplo) e a comparação entre observações antes e após a sua introdução permite obter um fator de ampliação específica do equipamento além de cossenos diretores que permitem a transformação das movimentações subsequentes segundo direções de interesse do usuário.

0032 O processo de calibração é apresentado na Figura 13, que apresenta um Modelo de Base para Calibração: admita-se a situação em que os eixos F e T do dispositivo de calibração (estrutura metálica na forma de uma letra T invertida) são perfeitamente perpendiculares; que os apoios (40) estejam perfeitamente nivelados; fixação correta do protótipo à base de fixação (41) em que o eixo Y do sensor esteja perfeitamente perpendicular ao suporte do protótipo.

0033 Nestas condições a introdução de inclinações, no ponto F do eixo vertical, causaria movimentos somente ao longo do eixo Y do sistema de coordenadas do sensor de movimento. Na hipótese de mau nivelamento dos apoios o deslocamento ainda se daria paralelamente ao eixo Y, o que dispensa a necessidade de alta precisão para este ajuste. O aparecimento de uma componente X, no entanto, indicará um desvio da orientação do sistema de coordenadas do sensor em relação à situação ideal, isto é, perpendicular à estrutura do equipamento. Pode-se, contudo, determinar o valor do ângulo de rotação através da relação trigonométrica entre as componentes X e Y. Veja a situação apresentada na Figura 14.

0034 O ponto A representa a posição esperada do pêndulo principal após a

introdução da inclinação, caso não haja rotação do sensor óptico. O ponto B é a posição efetivamente ocupada. Os elementos DX e DY permitem calcular o ângulo R que corresponde à rotação proveniente do não alinhamento do sistema de coordenadas com o suporte.

0035 Para transformar o valor observado no esperado pode-se recorrer à operação de rotação entre sistemas de coordenadas. Na Figura 14 observa-se o sistema XY. Este sistema representa os valores que as coordenadas observadas de B deveriam ter se Y não estivesse rotacionado de R.

0036 Para relacionar os dois sistemas utilizam-se as equações:

$$X' = X \cos ( R ) + Y \sin ( R )$$

$$Y' = -X \sin ( R ) + Y \cos ( R )$$

onde (X ; Y) são valores observados, (X' ; Y') os valores esperados e R ângulo de rotação.

0037 A determinação do Fator de Ampliação Específico (FAE) pode ser feita a partir da relação entre valor introduzido e valor observado. O valor observado é fornecido em pulsos, tanto na direção X quanto na direção Y. Como se trata de valores relativos à posição inicial, a distância observada pode ser calculada através de

$$D = (DX^2 + DY^2)^{1/2}$$

onde DX e DY são as variações em pulsos, com resultado em pulsos. A relação entre este número de pulsos convertido para mm utilizando a resolução óptica determinada e o valor introduzido em mm dá o Fator de Ampliação Específico do equipamento, independentemente do ponto onde haja conexão entre alavancas. Este fator é resultante da composição do ganho da alavanca secundária e da posição em que as alavancas se conectam.

0038 Um sistema de observação completo é composto pelo inclinômetrofotomecânico (1) propriamente dito e um coletor de dados que poderá ser um computador. Este computador é responsável pela leitura dos pulsos emitidos pelo sensor de movimento (conforme o intervalo e período de observação previamente

estipulados pelo usuário), armazenamento adequado da informação e disponibilização do arquivo por ele gerado.

0039 Na hipótese de disponibilidade de conexão à Internet, os arquivos de observações poderão ser disponibilizados utilizando-se o protocolo ftp (ou outro qualquer) o que permite acesso remoto aos dados, favorecendo a observação de obras em diversos pontos do planeta sem a necessidade de deslocamentos até o local para simples verificações. O software de decodificação poderá ser preparado para ler os dados a intervalos constantes por períodos determinados ou apenas gravar informações quando houver variação percebida pelo sensor (situação em que temos arquivos de menor volume). Podem-se conectar diversos equipamentos a um único computador formando uma bateria de inclinômetros para observar uma mesma obra, tendo-se em mente que os sensores ópticos devem ser do tipo USB.

0040 Caso haja necessidade de determinação geodésica das movimentações (referencial externo à obra) deve-se colocar inclinômetros em pontos remotos externos à obra observada e a observação simultânea de variações permite determinar os cossenos diretores de conversão dos valores observados em todos os equipamentos para um único sistema de coordenadas.

### REIVINDICAÇÕES

1. INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO (1) caracterizado por compreender um “mouse” como sensor óptico (6) de deslocamento, com amplificação determinada pela alavanca secundária (5).
2. INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO (1), de acordo com reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente os elementos: estrutura principal (4), elementos fixadores (7 e 8), suportes (9, 10 e 11) e pêndulo principal (3).
3. INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO (1), de acordo com reivindicação 2, caracterizado por compreender adicionalmente os elementos: lastro da alavanca principal (12), apoio da alavanca secundária (14), estimulador do sensor óptico (15), haste metálica intercambiável (16), conector (17), agulha (18), ímã ranhurado cilíndrico para conexão magnética entre alavancas (19), lâmina em acrílico para fixação do ímã ranhurado cilíndrico (20), trava anti-rotação (21), bucha de fixação (22), parafuso de fixação à parede (23), parafusos, arruelas e porcas de fixação (24), lâmina de calibração (25), mola de calibração (26), barras verticais (27), canaletas em formato de “u” (28), elementos transversais (29), lâmina de acrílico para fixação do sensor (30), lâmpada laser (31), circuito eletrônico (32), receptor do laser (33), superfície estimuladora (34), lâmina de acrílico (35), ímã (36), janela de proteção do laser (37), bloco em acrílico (38), ímã cilíndrico (39).
4. INCLINÔMETRO FOTO-MECÂNICO de acordo com reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente um conector magnético (13) entre o pêndulo principal (3) e a alavanca secundária (5).
5. SISTEMA PARA MEDIÇÃO DA INCLINAÇÃO caracterizado por um sistema de coleta de dados compreendido por ao menos um inclinômetrofotomecânico (1), compreendido por um “mouse” como sensor óptico (6) de deslocamentocom amplificação determinada pela alavanca secundária (5), conectado a um computador executando a identificação, leitura, decodificação, armazenamento e disponibilização de dados.
6. MÉTODO DE CALIBRAÇÃO caracterizado por

determinar o FAE- Fator de Ampliação Específico do equipamento e os cossenos diretores para transformação de coordenadas, por meio das seguintes etapas:

fixar o protótipo à base de fixação (41) de forma que o eixo Y do sensor esteja perfeitamente perpendicular ao suporte do protótipo, em que o aparecimento de uma componente X indicará um desvio da orientação do sistema de coordenadas do sensor em relação à situação ideal, perpendicular à estrutura do equipamento;

determinar o valor do ângulo de rotação através da relação trigonométrica entre as componentes X e Y, em que o ponto A representa a posição esperada do pêndulo principal após a introdução da inclinação, caso não haja rotação do sensor óptico; em que o ponto B representa a posição efetivamente ocupada; e em que os elementos DX e DY permitem calcular o ângulo R que corresponde à rotação proveniente do não alinhamento do sistema de coordenadas com o suporte;

transformar o valor observado no esperado por meio da operação de rotação entre sistemas de coordenadas, demonstrando os valores em que as coordenadas observadas de B deveriam ter se Y não estivesse rotacionado de R, e relacionar os dois sistemas utilizando-se as equações:

$$X' = X \cos ( R ) + Y \sen ( R )$$

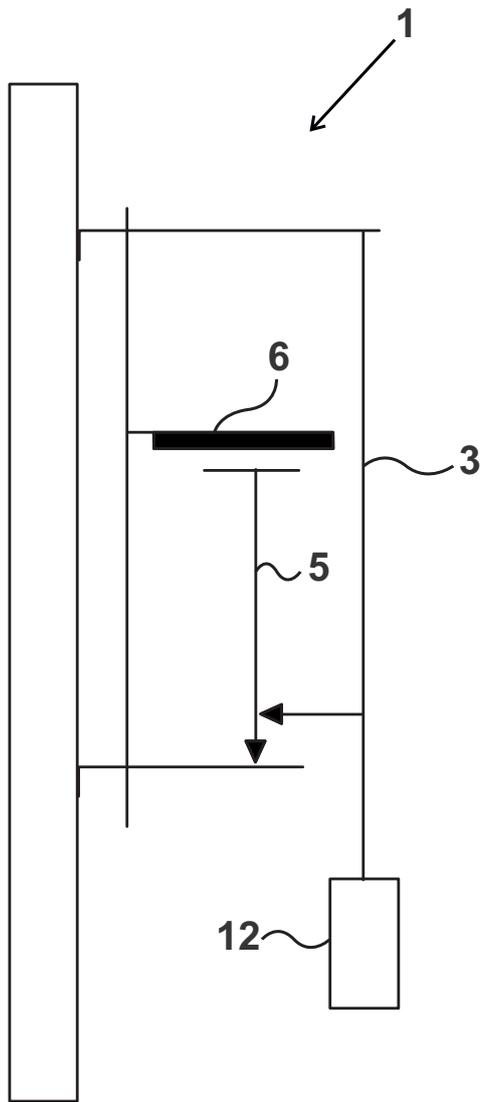
$$Y' = -X \sen ( R ) + Y \cos ( R )$$

onde (X ; Y) são valores observados, (X' ; Y') os valores esperados e R ângulo de rotação;

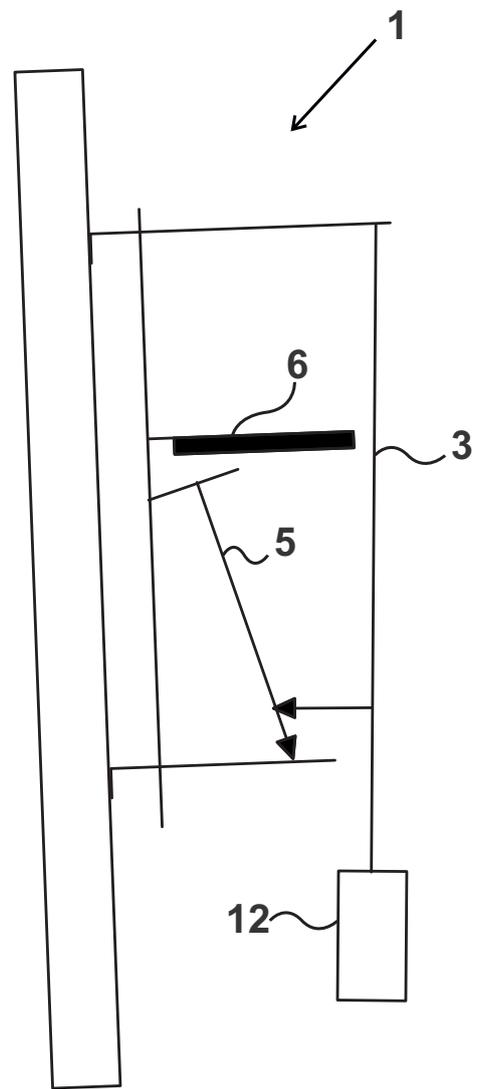
determinar do Fator de Ampliação Específico a partir da relação entre valor introduzido e valor observado, em que o valor observado é fornecido em pulsos, tanto na direção X quanto na direção Y, e como se trata de valores relativos à posição inicial, a distância observada é calculada utilizando-se a equação:

$D = (DX^2 + DY^2)^{1/2}$ , onde DX e DY são as variações em pulsos, com resultado em pulsos; e

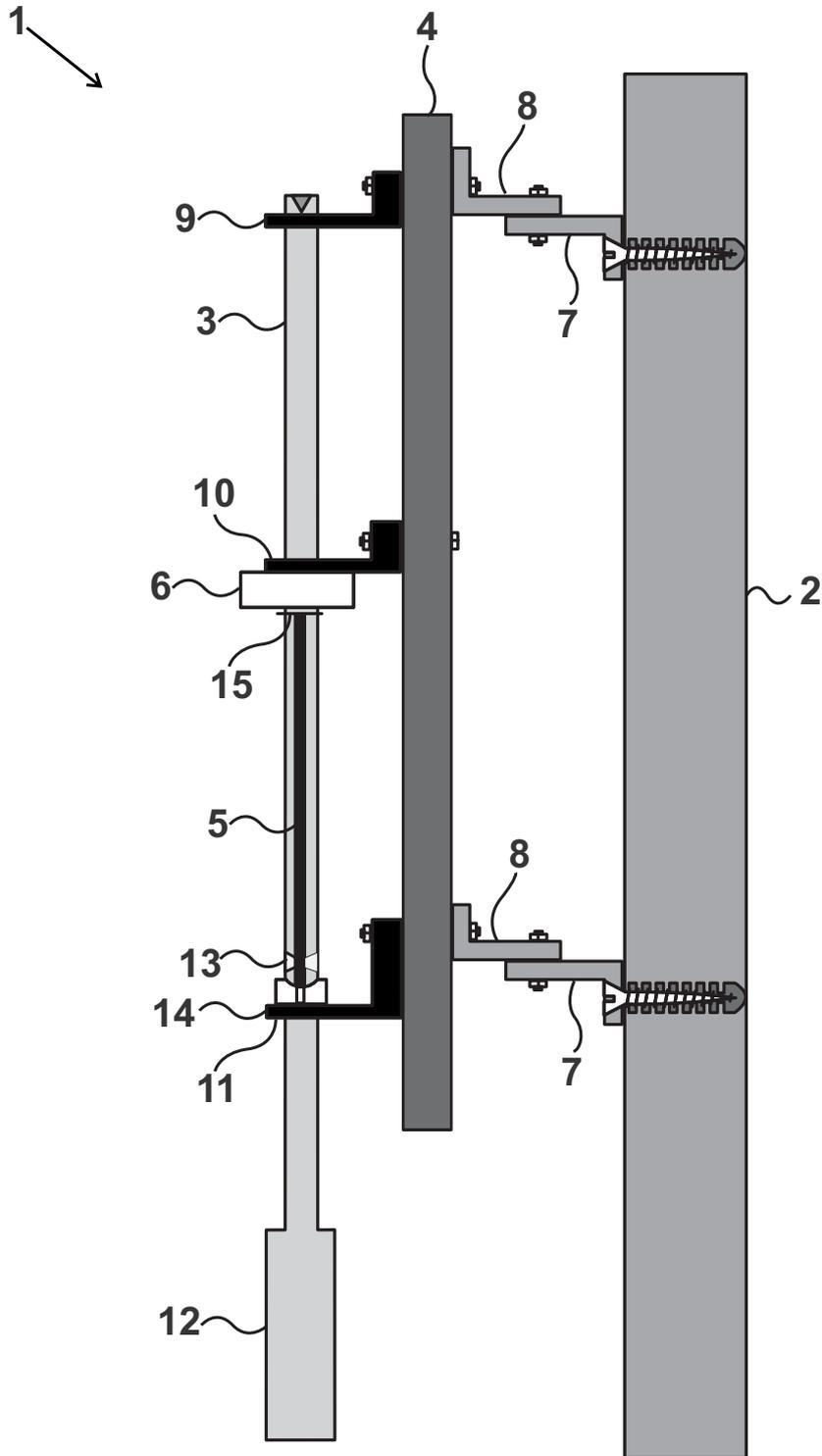
converter para mm a relação entre este número de pulsos utilizando a resolução óptica determinada e o valor introduzido em mm, obtendo o Fator de Ampliação Específico do equipamento, independentemente do ponto onde haja conexão entre alavancas, e em que este fator é resultante da composição do ganho da alavanca secundária e da posição em que as alavancas se conectam.



**Fig. 1A**



**Fig. 1B**



**Fig. 2**





Fig. 4A

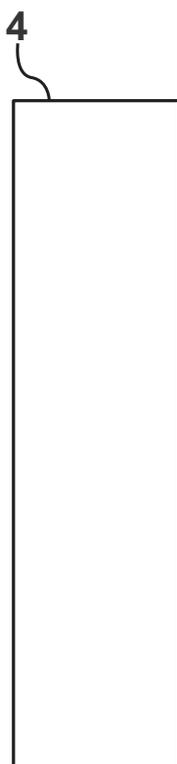


Fig. 4B

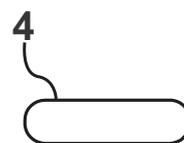
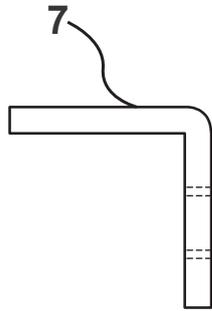
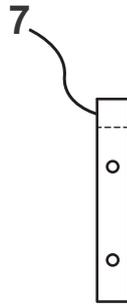


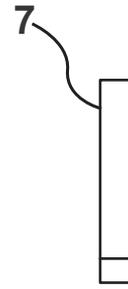
Fig. 4C



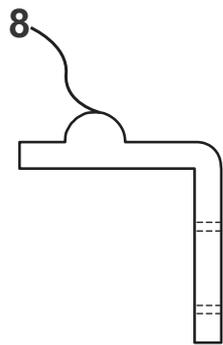
**Fig. 5A**



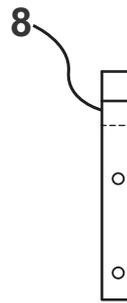
**Fig. 5B**



**Fig. 5C**



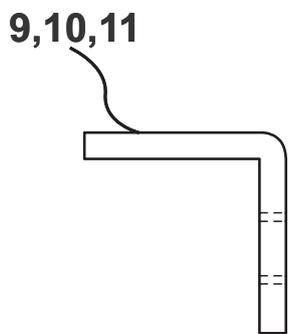
**Fig. 6A**



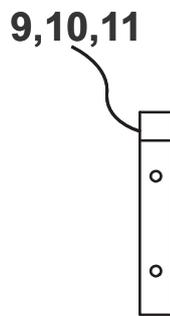
**Fig. 6B**



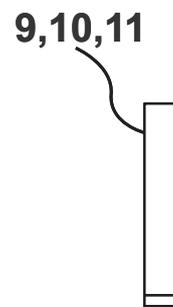
**Fig. 6C**



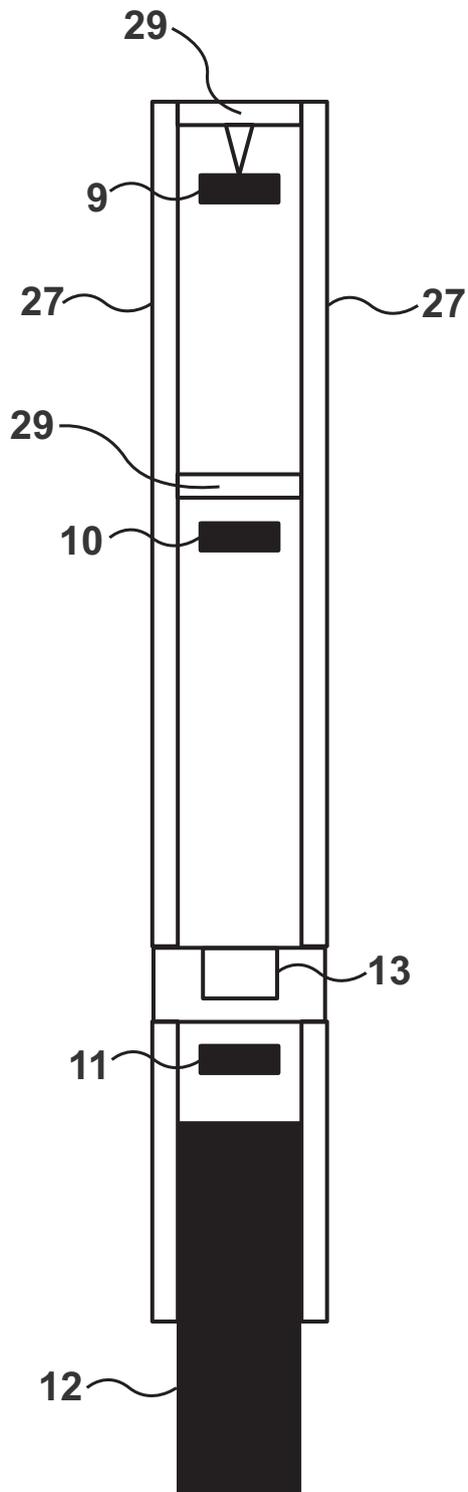
**Fig. 7A**



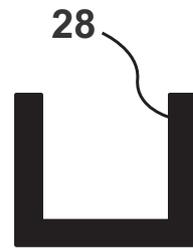
**Fig. 7B**



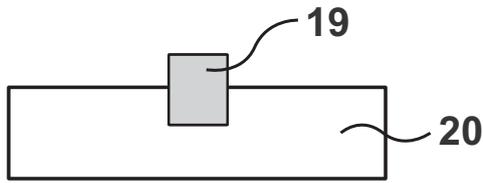
**Fig. 7C**



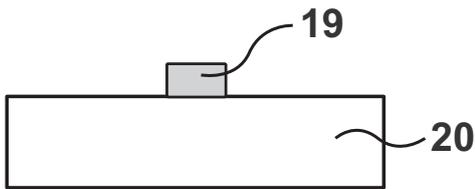
**Fig. 8A**



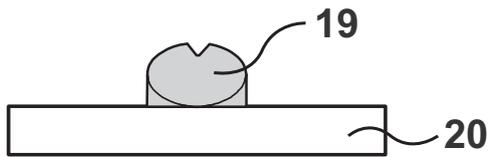
**Fig. 8B**



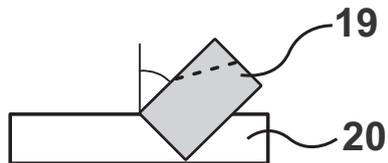
**Fig. 9A**



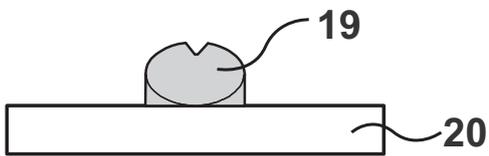
**Fig. 9B**



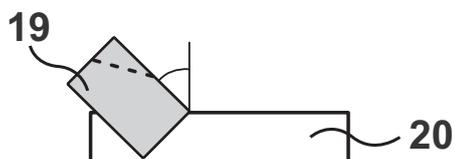
**Fig. 9C**



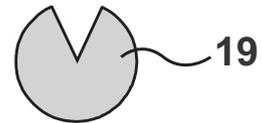
**Fig. 9D**



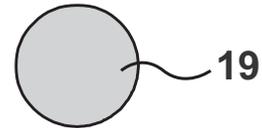
**Fig. 9E**



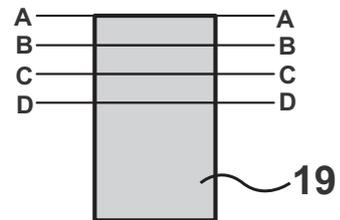
**Fig. 9F**



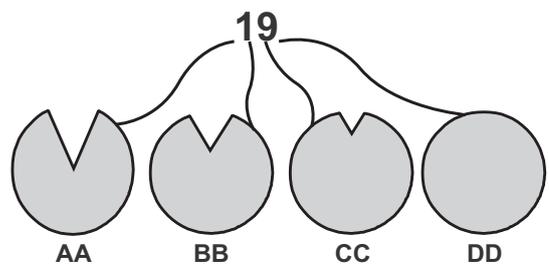
**Fig. 10A**



**Fig. 10B**

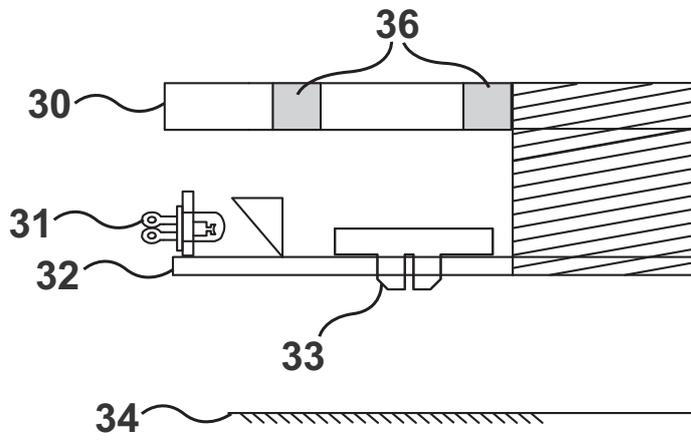


**Fig. 10C**

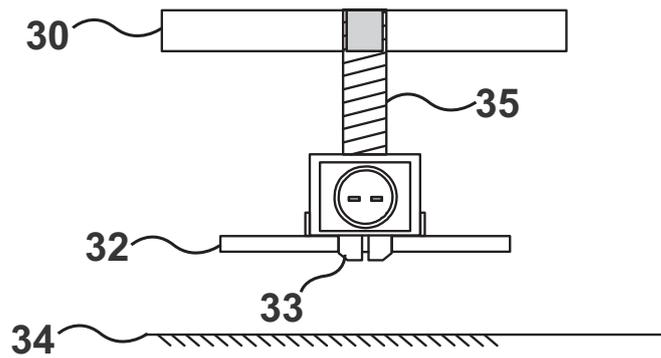


**Fig. 10D**

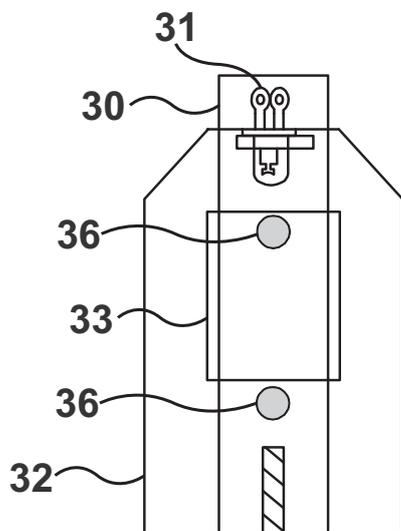
8/11



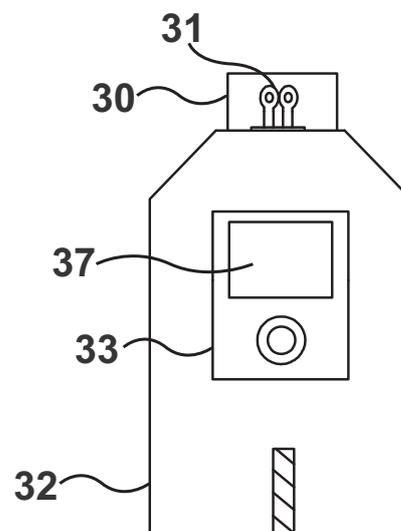
**Fig. 11A**



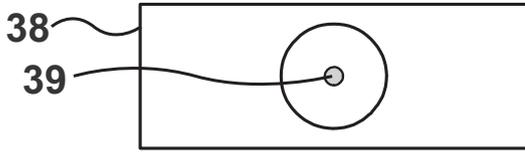
**Fig. 11B**



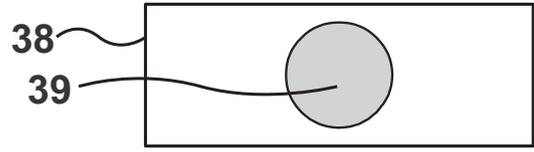
**Fig. 11C**



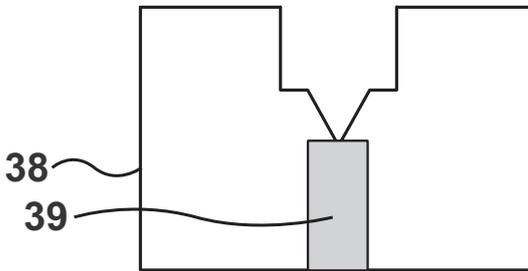
**Fig. 11D**



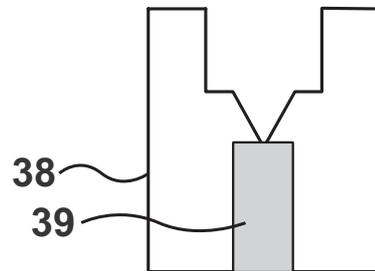
**Fig. 12A**



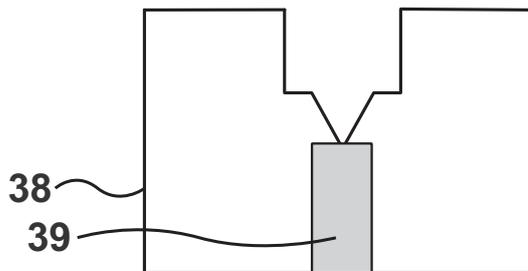
**Fig. 12B**



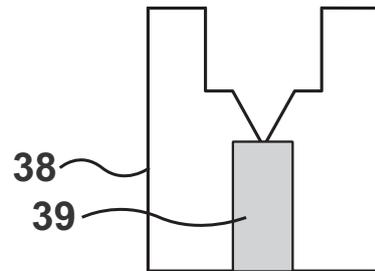
**Fig. 12C**



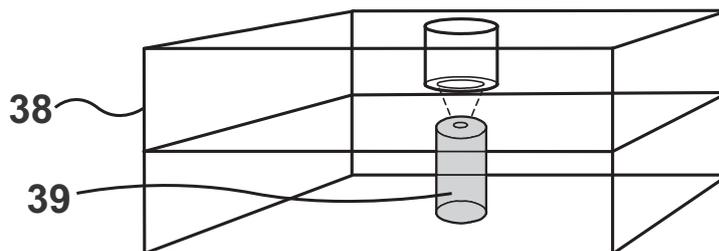
**Fig. 12D**



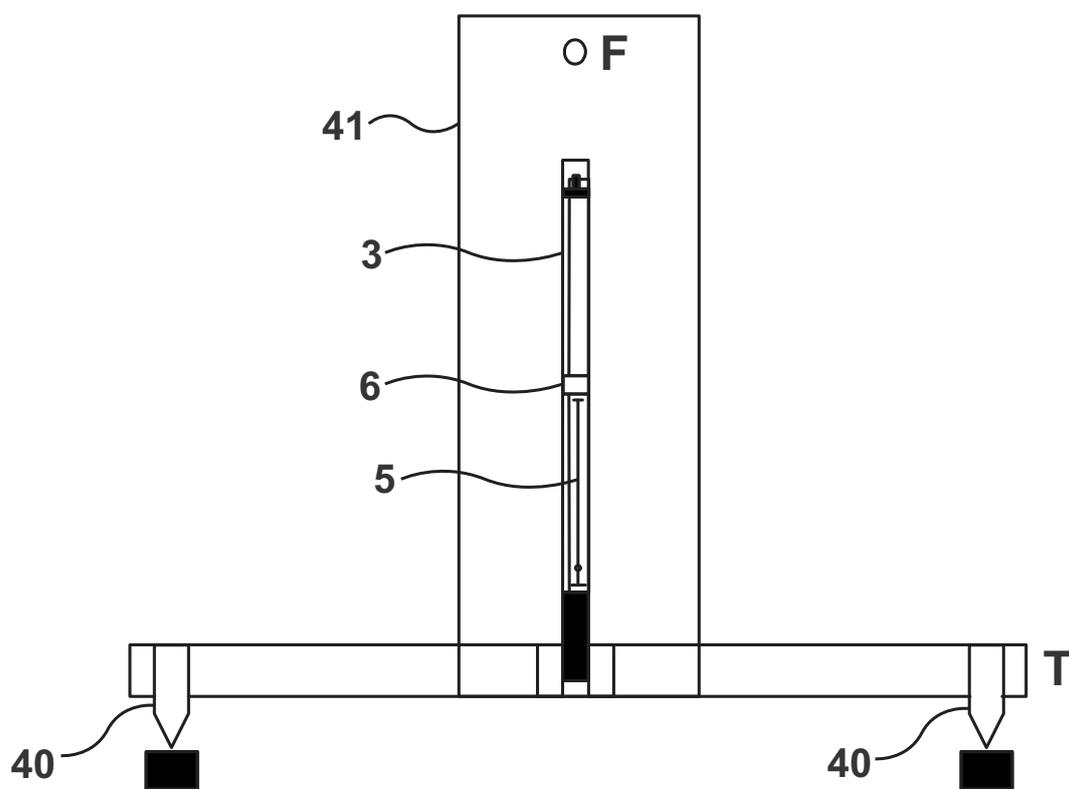
**Fig. 12E**



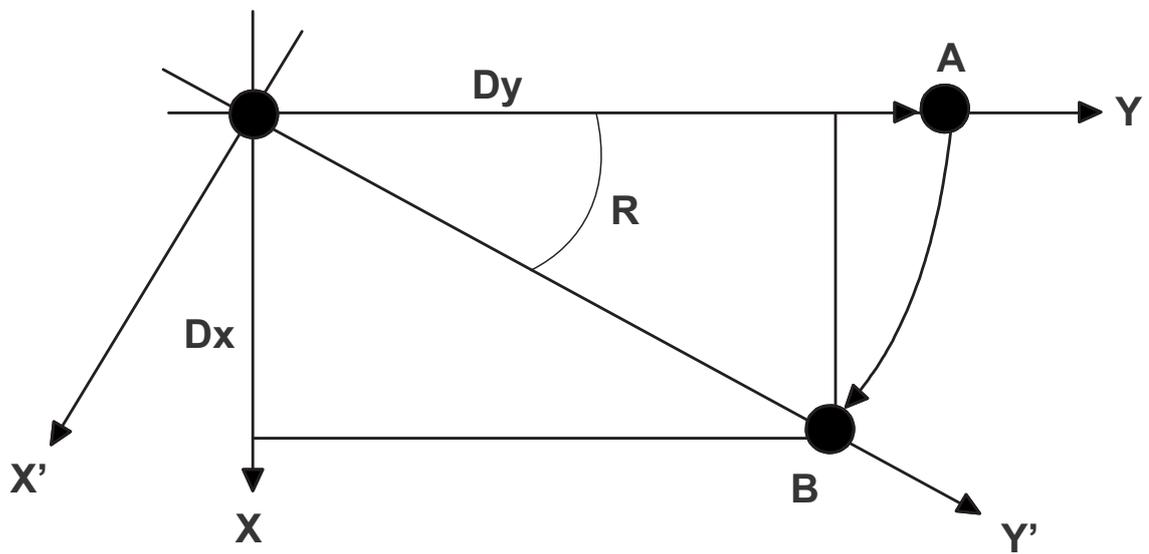
**Fig. 12F**



**Fig. 12G**



**Fig. 13**



**Fig. 14**