



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

(11) (21) **PI 0500214-1 A**

(22) Data de Depósito: 17/01/2005
(43) Data de Publicação: **05/09/2006**
(RPI 1861)



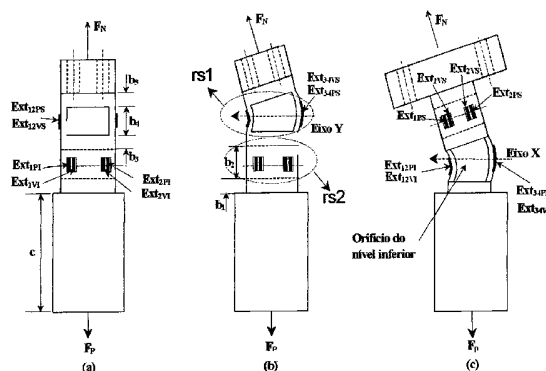
(51) Int. Cl⁷.:
G01N 3/20

(54) Título: **APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE ESTRUTURAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE DEFORMAÇÃO BIDIRECIONAL**

(71) Depositante(s): Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (BR/SP)

(72) Inventor(es): Josivaldo Godoy da Silva, Aparecido Augusto Carvalho, Rogério de Oliveira Rodrigues, Miguel Ângelo Menezes

(57) Resumo: "APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE ESTRUTURAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE DEFORMAÇÃO BIDIRECIONAL". Compreendido por um bloco (A) constituído de material metálico, possuindo quatro parafusos para fixar o sensor à estrutura, bem como possui grande resistência mecânica a deformação quando ocorre a inclinação da estrutura, de maneira que o bloco (A) está ligado ao bloco (B) por meio de parafusos internos, sendo o bloco (B) desenvolvido em duralumínio, o qual sofre a ação de grandes tensões provocadas pela sensibilização decorrente da existência de dois orifícios retangulares (E) passantes que criaram as regiões sensoras (rs1) e (rs2), sendo que em cada região sensora existem duas membranas laterais ao orifício, de forma que, devido a sensibilização das regiões (rs1) e (rs2) ocorrem deformações nas membranas provocadas por momento fletor decorrente da inclinação da estrutura, sendo que as deformações são percebidas pelos extensômetros resistivos colados nas faces externas das membranas. Pelo fato das membranas (rs1) e (rs2) serem ortogonais entre si, os extensômetros não percebem simultaneamente a inclinação, a menos que ocorra em direção intermediária aos eixos X e Y, sendo que desta forma, a inclinação em direções intermediárias quaisquer também são detectadas e determinadas. Ao todo são dezesseis extensômetros correspondendo à existência de quatro Pontes de Wheatstone ligadas independentemente uma da outra, de forma que cada grupo de quatro extensômetros (F) resistivos constituem uma Ponte de Wheatstone, sendo que a saída de cada Ponte de Wheatstone foi ligada a um circuito de condicionamento responsável pela amplificação, filtragem e retificação, sendo o circuito composto por uma Ponte de Wheatstone e por uma parte eletrônica. As duas Pontes de Wheatstone localizadas em cada região sensora (rs1 e rs2), são independentes e denominadas de Principal e de Verificação.



**“APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE
ESTRUTURAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE
DEFORMAÇÃO BIDIRECIONAL”**

Refere-se o presente relatório descritivo a
5 patente de invenção de um aparelho para medição de ângulo de
inclinação de estruturas de grande porte por meio de sensor metálico
de inclinação que opera na faixa de -6° a $+6^\circ$, embora seja capaz de
medir a inclinação para uma faixa maior tal como -60° a $+60^\circ$, de
concepção inovadora e dotado de importantes melhoramentos
10 tecnológicos e funcionais, segundo os mais modernos conceitos de
engenharia e de acordo com as normas e especificações exigidas,
revestindo-se de características próprias e requisitos fundamentais de
novidade e atividade inventiva, fazendo resultar uma série de reais e
extraordinárias vantagens técnicas, práticas e econômicas.

15 O sensor foi desenvolvido para medir ângulos
de inclinação de prédios, torres de transmissão, pontes, viadutos, etc.

A motivação para a criação do objeto da
presente patente foi a de viabilizar o planejamento e
conseqüentemente o reparo de uma estrutura estática de grande
20 porte de maneira a evitar problemas estruturais graves ou mesmo que
poderiam provocar danos materiais e físicos as pessoas que a
utilizam.

Com o sensor é possível realizar o
monitoramento contínuo da estrutura em todos os pontos que forem
25 necessários, com a instalação de número suficiente de sensores.

O custo para a implantação do sistema de
monitoramento é insignificante comparativamente ao custo da obra
ou o custo para a correção da estrutura se ocorrer danos provenientes
de inclinação.

O corpo do sensor foi desenvolvido utilizando-se dois tipos de metais diferentes. Além disso o mesmo é constituído de três blocos (A, B e C) interligados através de parafusos internos.

5 O bloco A tem a finalidade de sustentar o sensor.

O bloco B foi construído em duralumínio, possuindo duas regiões sensoras (rs1 e rs2), onde foram instalados os extensômetros resistivos.

10 Os extensômetros são ligados em grupos de quatro unidades, formando uma Ponte de Wheatstone cada grupo.

Em cada região sensora foram usadas duas Pontes de Wheatstone independentes, chamadas de Principal e de Verificação.

15 O bloco C consiste de uma massa arredondada de aço inóx que se desloca na direção, sentido e com intensidade proporcional a inclinação da estrutura.

O sistema de segurança do sensor monitora a inclinação da estrutura e a operação do próprio sensor visando perceber defeitos, inclusive no sistema eletrônico que compõe o
20 sensor, aumentando assim a confiabilidade do sistema.

Os resultados experimentais obtidos foram satisfatórios obtendo-se resposta proporcional a inclinação θ na faixa de operação desejada (-6° a 6°), pequena histerese de 1,5 %, excelente repetibilidade, resolução de $0,08^\circ$, sensibilidade máxima de
25 1,25 V / Grau.

INTRODUÇÃO

A verificação da segurança de um sistema estrutural consiste basicamente no estabelecimento de estados limites a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às

finalidades de construção. Os mesmos podem ser classificados em estados limites últimos e estados limites de utilização.

Os estados limites últimos determinam a paralisação, no todo ou em parte, do equilíbrio, global ou parcial, admitida à estrutura como corpo rígido, b) ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais, c) transformação da estrutura, no todo ou em parte, em um sistema estrutural em compressão hipotético, d) instabilidade por deformação, em tração ou compressão ou e) instabilidade dinâmica devido a possibilidade de ressonância do sistema estrutural.

Já os estados limites de utilização indicam o índice de comprometimento da durabilidade estrutural, em função da ocorrência, repetição ou duração de determinadas ações que causam efeitos estruturais não condizentes com as condições específicas para o uso normal da construção, tais como: a) danos ligeiros, ou localizados, que comprometam o aspecto estético da construção ou a durabilidade da estrutura, b) deformações excessivas que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético, ou c) vibrações de amplitude excessiva.

Em se tratando da verificação da segurança de sistemas estruturais verticais, tais como edifícios residenciais, torres e pontes, um dos grandes problemas é dado pelo recalque diferencial que pode ocorrer no sistema de fundação, provocando uma inclinação estrutural incompatível com os valores prescritos em projeto, caracterizando um dos estados limites de utilização. Como exemplo extremo, pode-se mencionar alguns edifícios construídos na baixada Santista – SP, onde as inclinações apresentadas pelos sistemas estruturais são tão acentuadas que comprometem a segurança dos mesmos de forma definitiva, deixando de caracterizar um estado limite

de utilização para se tornar um estado último.

Neste contexto, com a idealização do sensor para medição da inclinação de estruturas estáticas de grande porte ora proposto é possível detectar, de forma precoce, o surgimento de uma inclinação incompatível do sistema estrutural instrumentado, propiciando que seja planejado o reparo imediato do problema, com redução significativa de custo do mesmo, e principalmente viabilizando a utilização do sistema de forma permanente e impedindo que usuários ou proprietários de imóveis venham a ter prejuízos financeiros definitivos.

DESCRIÇÃO DO OBJETO DA PATENTE

O objeto consiste na implementação de um sensor de inclinação.

O sensor é idealizado para a medição de inclinação de estruturas estáticas de grande porte tais como edifício, torres de transmissão e pontes, na faixa de -6° a $+6^\circ$ entretanto o mesmo também pode ser utilizado para medir ângulos de inclinação de diversas outras estruturas para uma faixa maior tal como -60° a $+60^\circ$.

O sensor apresenta dois eixos de referência perpendiculares X e Y

O corpo do sensor é constituído de dois tipos de metais.

Além disso, o sensor é composto de três blocos (A, B e C), ligados entre si por meio de parafusos internos.

A utilização de dois metais se deve a dificuldade em usinar o corpo mecânico em peça única.

A figura 1 ilustra o sensor objeto da presente patente.

- A: Bloco A;
- B: Bloco B;
- C: Bloco C;
- D: Parafuso de fixação;
- E: Orifício passante;
- F: Extensômetros;
- a: Membrana.

5

O bloco A é constituído de aço inóx, por isso apresenta grande resistência mecânica a deformação provocada pela inclinação da estrutura. Além disso possui quatro parafusos para fixar o sensor a estrutura que se deseja monitorar.

10

O bloco B foi desenvolvido em duralumínio, sendo constituído por dois orifícios (E) perpendiculares entre si e localizados em alturas diferentes. Cada orifício possui duas paredes laterais chamadas de membranas.

15

Devido ao fato das membranas serem delgadas, apresentam grande sensibilidade aos esforços decorrentes da inclinação da estrutura.

As membranas sensoras se deformam devido a ação de tensão normal e de cisalhamento provocadas pelo bloco C. Assim a massa do bloco C se desloca na direção, com o sentido e intensidade proporcionais a inclinação.

20

As deformações são percebidas pelos extensômetros resistivos (F) colados nas faces externas das membranas (a).

25

O extensômetro resistivo (F) é o elemento sensor básico.

Devido ao fato dos orifícios (E) serem perpendiculares entre si, os extensômetros (F) colados em

membranas ortogonais (a), não percebem simultaneamente a inclinação, a menos que ocorra em direção intermediária as direções X e Y de referência .

5 Desta forma, a inclinação em direções intermediárias quaisquer também são detectadas e determinadas.

Ao todo são dezesseis extensômetros correspondendo à existência de quatro Pontes de Wheatstone ligadas independentemente uma da outra.

10 Cada grupo de quatro extensômetros (F) resistivos constituem uma Ponte de Wheatstone.

A saída de cada Ponte de Wheatstone foi ligada a um circuito de condicionamento de sinais independente responsável pela amplificação, filtragem e retificação.

15 O circuito de condicionamento responde eletronicamente a inclinação da estrutura.

A figura 2 ilustra quatro situações de inclinações que podem ocorrer bem como apresenta as regiões sensoras rs1 e rs2 que contém as membranas e os respectivos extensômetros resistivos colados.

20 Para cada região sensora existem dois circuitos de condicionamento de sinais independentes, conectados em duas Pontes de Wheatstone independentes que monitoram a mesma deformação. A primeira Ponte de Wheatstone é denominada de Principal enquanto a segunda Ponte de Wheatstone é chamada de
25 Verificação.

Através do circuito da Ponte de Verificação e condicionamento de sinais, se determina os problemas no circuito principal por meio da comparação de sinais.

Desta forma as medições em cada região

podem ser medidas e confirmadas.

Desta forma na figura 2 tem-se:

Situação a - Não ocorreu a inclinação da estrutura;

Situação b - Ocorreu a inclinação da estrutura segundo a direção Y.

Situação c - Ocorreu a inclinação da estrutura segundo a direção X.

Ext_{12PS}: extensômetros 1 e 2 da ponte principal superior;

Ext_{12VS}: extensômetros 1 e 2 da ponte de Verificação superior;

Ext_{1PI}: extensômetros 1 da ponte principal inferior;

Ext_{1VI}: extensômetros 1 da ponte de Verificação inferior;

Ext_{2PI}: extensômetros 2 da ponte principal inferior;

Ext_{2VI}: extensômetro 2 da ponte de Verificação inferior;

Ext_{34PS}: extensômetros 3 e 4 da ponte principal superior;

Ext_{34VS}: extensômetros 3 e 4 da ponte de Verificação superior;

Ext_{12PI}: extensômetros 1 e 2 da ponte de principal inferior;

Ext_{12VI}: extensômetros 1 e 2 da ponte de Verificação inferior;

Ext_{34PI}: extensômetros 3 e 4 da ponte principal inferior;

Ext_{34VI}: extensômetros 3 e 4 da ponte de Verificação inferior;

5 Ext_{1PS}: extensômetro 1 da ponte principal superior;

Ext_{1VS}: extensômetro 1 da ponte de Verificação superior;

10 Ext_{2VS}: extensômetro 2 da ponte de Verificação superior;

Ext_{2PS}: extensômetro 2 da ponte principal superior;

F_P: Força peso;

F_N: Força normal;

15 rs1: primeira região sensora (superior);

rs2: segunda região sensora (inferior).

Todos os extensômetros foram orientados paralelamente ao eixo vertical do sensor.

20 A figura 3 apresenta o diagrama de forças cortantes tal que (F_X) e (F_Y) provocam os momentos fletores (M_X) e (M_Y).

Além disso (a) representa o diagrama de forças presentes no sistema e (b) é o diagrama de forças que atuam no plano inclinado.

25 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A força peso (F_P) a inclinação θ da estrutura provocam tensão normal, na estrutura.

No caso (a) da figura 3, as Pontes de Wheatstone nada indicam pois todos os extensômetros estão

submetidos a mesma deformação seja em intensidade, seja em direção sentido e seja em sentido.

Entretanto, no caso (b) ocorre a inclinação θ na direção do eixo Y sendo, que as duas membranas localizadas na região rs1 (superior) se deformam proporcionalmente a inclinação enquanto, enquanto as duas membranas localizadas na região rs2 (inferior) não se deformam.

Desta forma, no caso (c) ocorre a inclinação θ na direção do eixo X sendo, que as duas membranas localizadas na região rs2 (inferior) se deformam proporcionalmente a inclinação enquanto, as duas membranas localizadas na região rs1 (superior) não se deformam.

O caso (d), não apresentado se dá quando a inclinação ocorre em direção intermediária as direções X e Y do sensor.

sendo ΣF_v o somatório das forças na direção vertical tem-se

$$R = F_p \quad (1)$$

sendo R a força de reação e F_p a força peso.

A força peso (F_p) é tal que

$$F_p = mg \quad (2)$$

sendo m a massa do bloco C e g a aceleração gravitacional.

A força normal (F_N) é dada por

$$F_N = \cos\theta F_p \quad (3)$$

sendo θ o ângulo de inclinação da estrutura.

A força (F_{XY}) que atua na direção intermediária entre os eixos X e Y é definida por

$$F_{XY} = \sin\theta F_p \quad (4)$$

Decompondo a força (F_{XY}) nas forças cortantes (F_X) e (F_Y)

orientadas segundo os eixos X e Y tem

$$F_X = \cos \alpha F_{XY} \quad (5)$$

$\Rightarrow$

$$F_X = \sin \theta \cos \alpha F_p \quad (6)$$

5 Além disso tem-se

$$F_Y = \sin \alpha F_{XY} \quad (7)$$

$\Rightarrow$

$$F_Y = \sin \theta \sin \alpha F_p \quad (8)$$

De (6) e (8) define-se as constantes (K_I) e (K_S).

$$10 \quad K_I = \cos \alpha F_p \quad (9)$$

$$K_S = \sin \alpha F_p \quad (10)$$

Obtendo-se as forças (F_X) e (F_Y) em termos de (K_I) e (K_S) tem-se

$$F_X = \sin \theta K_I \quad (11)$$

$$15 \quad F_Y = \sin \theta K_S \quad (12)$$

O ângulo (θ) é pequeno (variando de -6° a $+6^\circ$) logo é válida a igualdade

$$\theta = \sin \theta \quad (13)$$

Reescrevendo as forças (F_X) e (F_Y) em termos (θ) tem-se

$$20 \quad F_X = \theta K_I \quad (14)$$

$$F_Y = \theta K_S \quad (15)$$

Para (θ) grande, (14) e (15) não são válidas pois o sistema é não linear. Neste caso (11) e (12) devem ser consideradas no lugar.

Determinação da Deformação nas Membranas da Região rs1

25 (superior)

O momento (M_S) é tal que

$$M_S = F_Y L_s \quad (16)$$

sendo (L_S) a distância entre a força (F_P) localizada no centro de gravidade do bloco (C), e os extensômetros, colados nas membranas localizadas em rs1.

A distância (L_S) é tal que

$$L_S = \frac{(C + h_1 + h_2 + h_3 + \frac{b_4}{2})}{2} \quad (17)$$

A deformação da superfície externa da membrana 1 da região rs1 (superior) é igual a deformação (d_{12S}) dos extensômetros resistivos (EXT_{1PS} e EXT_{2PS} ou EXT_{1VS} e EXT_{2VS}) colados na superfície tal que

$$d_{12S} = + \frac{F_N}{A_T E} + \frac{(F_Y L_S) y}{I E} \quad (18)$$

A deformação da superfície externa da membrana 2 da região rs1 (superior) é igual a deformação (d_{34S}) dos extensômetros resistivos (EXT_{3PS} e EXT_{4PS} ou EXT_{3VS} e EXT_{4VS}) colados na superfície tal que

$$d_{34S} = + \frac{F_N}{A_T E} - \frac{(F_Y L_S) y}{I E} \quad (19)$$

sendo (+) superfície externa tracionada e (-) superfície externa comprimida. Além disso (A_T) é a área da seção transversal da membrana do orifício superior ou inferior, (E) o módulo de Young, (I) o momento de inércia da seção transversal da membrana e (y) a distância do centro de gravidade do bloco (C) aos extensômetros resistivos localizados nas paredes das membranas de rs1.

A resposta da Ponte de Wheatstone Principal ou de verificação (V_{OS}) da região rs1 (superior) é tal que

$$V_{OS} = \theta \left(\frac{V_i K_F K_S L_S y}{I E} \right) \quad (20)$$

sendo (K_F) o fator de calibração dos extensômetros resistivos (= 2,1).

fazendo:

$$V = \theta \left(\frac{K_F K_S L_S y}{IE} \right) \quad (21)$$

tal que

$$V_{OS} = \theta K_3 \quad (22)$$

A resposta obtida é linear.

5 Determinação da Deformação nas Membranas da região rs2 (inferior).

O momento (M_I) é tal que

$$M_I = F_X L_I \quad (23)$$

sendo (L_I) a distância entre a força (F_P) localizada no centro de gravidade do bloco (C), e os extensômetros, colados nas membranas de rs2.

$$L_I = \left(\frac{c}{2} + h + \frac{b_2}{2} \right) \quad (24)$$

sendo $L_I < L_S \Rightarrow M_I < M_S$

A deformação da superfície externa da membrana 1 da região rs2 (inferior) é igual a deformação (d_{12I}) dos extensômetros resistentes (Ext_{1PI} e Ext_{2PI} ou Ext_{1VI} e Ext_{2VI}) colados na superfície tal que

$$d_{12I} = + \frac{F_N}{A_{TE}} + \frac{(F_X L_I) y}{IE} \quad (25)$$

A deformação da superfície externa da membrana 2 da região rs2 (inferior) é igual a deformação (d_{34I}) dos extensômetros resistentes (Ext_{3PI} e Ext_{4PI} ou Ext_{3VI} e Ext_{4VI}) colados na superfície tal que

$$d_{34I} = + \frac{F_N}{A_{TE}} - \frac{(F_X L_I) y}{IE} \quad (26)$$

A resposta da Ponte de Wheatstone (V_{OI}) Principal ou de Verificação da região rs2 (inferior) é tal que

$$V = \theta \left(\frac{V_I K_F K_I L_I y}{IE} \right) \quad (27)$$

Fazendo

$$V_{OI} = \frac{V_I}{1 + \frac{K_F K_T L_T y}{IE}} \quad (27)$$

tal que

$$V_{OI} = \theta K_4 \quad (28)$$

5 A resposta também é linear.

A Ponte de Wheatstone foi utilizada para eliminar a instabilidade provocada pela variação de temperatura nos extensômetros bem como fornecer um valor médio que melhor represente a resposta dos extensômetros.

10 A resposta de cada Ponte de Wheatstone caracteriza θ fornecendo a direção, o sentido e a intensidade da inclinação estrutural.

Os sinais eletrônicos gerados em cada Ponte são condicionados por meio de circuitos de condicionamento de sinais independentes.

O principal componente do circuito de condicionamento de sinais é o amplificador operacional.

O circuito de condicionamento consistiu em um amplificador de diferenças tendo como filtros para sinais elétricos de média e alta frequências capacitores de poliéster metalizado de 0.1 μF .

O circuito de condicionamento de sinais é simples porque a inclinação da estruturas ocorre de forma lenta.

O desbalanceamento da Ponte foi corrigido através de trimpots que controlam o ganho nos ramo inversor e não inversor do amplificador de diferenças.

O circuito mostrou-se bastante estável com a temperatura para a faixa de 30° C a 70° C.

O sensor pode ser instalado conforme a disponibilidade do local, ficando exposto e permitindo a mudança de local podendo ser embutido.

Entretanto em qualquer das situações é necessário protegê-lo contra poeira, umidade ou choque mecânico.

O sensor se mostra versátil já que através das medições das inclinações em dois eixos ortogonais, se determina a inclinação em qualquer direção. Além disso possui corpo mecânico bastante robusto.

CALIBRAÇÃO

As características estáticas e dinâmicas foram obtidas através de um sistema mecânico de referência composto de um eixo móvel horizontal que gira, onde se fixou o sensor de inclinação. O eixo móvel possui na extremidade, uma agulha metálica que percorre uma escala graduada em graus a medida que o eixo gira.

A inclinação foi monitorada individualmente nas direções X e Y do sensor já que o sistema de referência não permitiu medir simultaneamente.

As respostas das Pontes de Wheatstone Principal e de Verificação foram obtidas através de um osciloscópio HP de 60 MHz, digital de dois canais.

A alimentação do circuito de condicionamento de sinais foi realizada utilizando-se uma fonte DC de 0-30V.

RESULTADOS OBTIDOS

Tab. 01 – Resultados obtidos para a ponte Principal ao monitorar a região sensora rs1.

Ponte de Wheatstone Principal	
Histerese	1,3 %
Resolução (Graus)	0,08
Sensibilidade (V/Graus)	1,25 V/G
Desvio Padrão	0,06633
Coeficiente de Linearidade	0,9995

Tab. 02 – Resultados obtidos para a ponte

Principal ao monitorar a região sensora rs2.

Ponte de Wheatstone Principal	
Histerese (%)	1,6%
Resolução (Graus)	0,08
Sensibilidade (V/Graus)	1,08
Desvio Padrão	0,08238
Coeficiente de Linearidade	0,9992

Além disso não se constatou interferência significativa entre os sinais das pontes existentes nas regiões rs1 e rs2.

Os gráficos da Fig. 4 foram obtidos através de regressão linear entre os sinais medidos das Pontes de Wheatstone Principal e de Verificação para rs1 quanto para rs2.

Fig. 4 – Gráfico comparativo de respostas das pontes sensoras principais.

A: Ponte principal em rs1 (superior).

B: Ponte principal em rs2 (inferior).

Não se tem conhecimento de nenhum aparelho para medição de ângulo de inclinação de estruturas de grande porte por meio de sensor de deformação bidirecional que reúna conjuntamente, todas as características construtivas e funcionais
5 acima relatadas, e que direta ou indiretamente, é ou foi tão efetivo quanto o aparelho objeto da presente patente.

Trata-se portanto, de um produto de grande importância ao fim visado, que consiste de um inédito aparelho para medição de ângulo de inclinação de estruturas de grande porte por
10 meio de sensor de deformação bidirecional, com a utilização de extensômetros resistivos, satisfazendo plenamente os objetivos propostos e cumprindo de maneira prática e eficiente as funções destinadas, proporcionando uma série de vantagens inerentes à sua aplicabilidade, revestindo-se de características próprias, inovadoras e
15 dotadas com requisitos fundamentais de novidade e atividade inventiva, exigidos para merecer a proteção de patente de invenção.

REIVINDICAÇÕES

1 – “APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE ESTRUTURAS ESTÁTICAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE DEFORMAÇÃO

5 **BIDIRECIONAL”** caracterizado pelo fato de compreender um bloco (A) constituído de material metálico, possuindo quatro parafusos para fixar o sensor à estrutura, bem como possui grande resistência mecânica a deformação quando ocorre a inclinação da estrutura, de maneira que o bloco (A) está ligado ao bloco (B) por meio de
10 parafusos internos, sendo o bloco (B) desenvolvido em duralumínio, o qual sofre a ação de grandes tensões provocadas pela sensibilização decorrente da existência de dois orifícios retangulares (E) passantes que criaram as regiões sensoras (rs1) e (rs2), sendo que em cada região sensora existem duas membranas laterais ao orifício, de forma
15 que, devido a sensibilização das regiões (rs1) e (rs2) ocorrem deformações nas membranas provocadas por momento fletor decorrente da inclinação da estrutura, sendo que as deformações são percebidas pelos extensômetros resistivos colados nas faces externas das membranas.

20 **2 – “APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE ESTRUTURAS ESTÁTICAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE DEFORMAÇÃO BIDIRECIONAL”**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato das membranas de (rs1) e (rs2) serem ortogonais entre si, os
25 extensômetros não percebem simultaneamente a inclinação, a menos que ocorra em direção intermediária aos eixos X e Y, sendo que desta forma, a inclinação em direções intermediárias quaisquer também são detectadas e determinadas.

3 – “APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO

DE INCLINAÇÃO DE ESTRUTURAS ESTÁTICAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE DEFORMAÇÃO BIDIRECIONAL”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que ao todo são dezesseis extensômetros correspondendo à existência de quatro Pontes de Wheatstone ligadas independentemente uma da outra, de forma que cada grupo de quatro extensômetros (F) metálicos constituem uma Ponte de Wheatstone, sendo que a saída de cada ponte de Wheatstone foi ligada a um circuito de condicionamento responsável pela amplificação, filtragem e retificação, de maneira que o circuito é capaz de determinar eletronicamente a inclinação da estrutura, sendo que as saídas de cada circuito de condicionamento de sinais são comparadas entre si, para as Pontes de wheatstone Principal e de Verificação localizadas na mesma região sensora.

4 – “APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE ESTRUTURAS ESTÁTICAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE DEFORMAÇÃO BIDIRECIONAL”, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de possuir um circuito de verificação idêntico ao circuito principal localizado em cada região sensora rs1 e rs2.

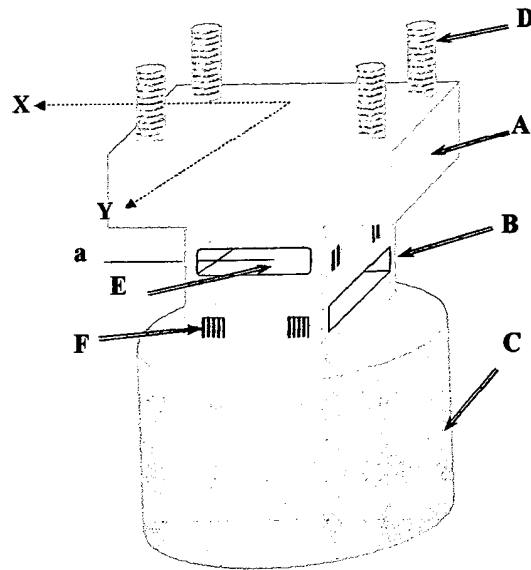


FIG. 1

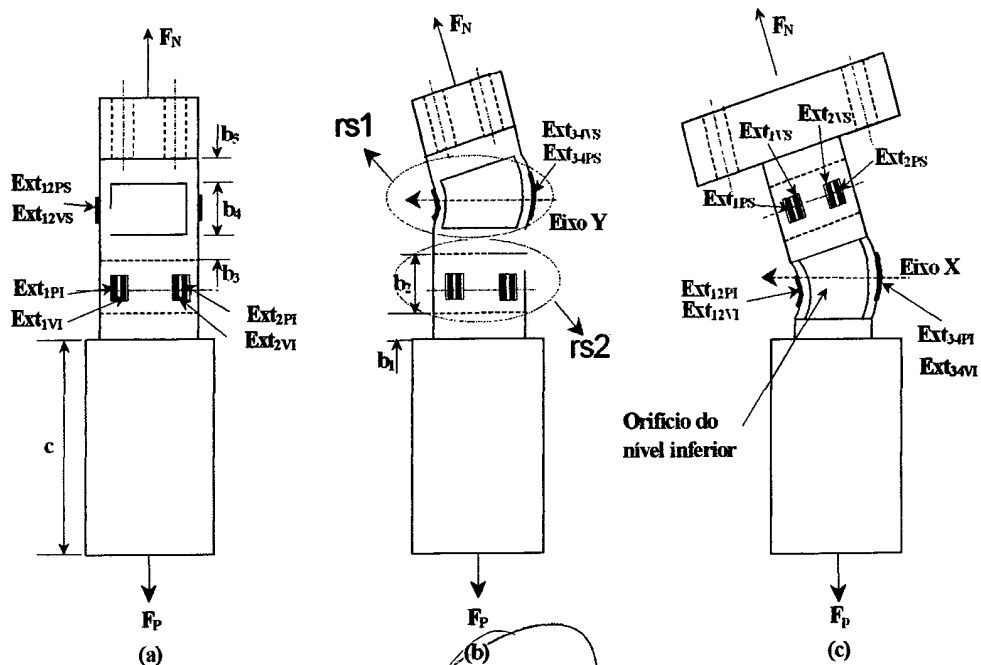


FIG. 2

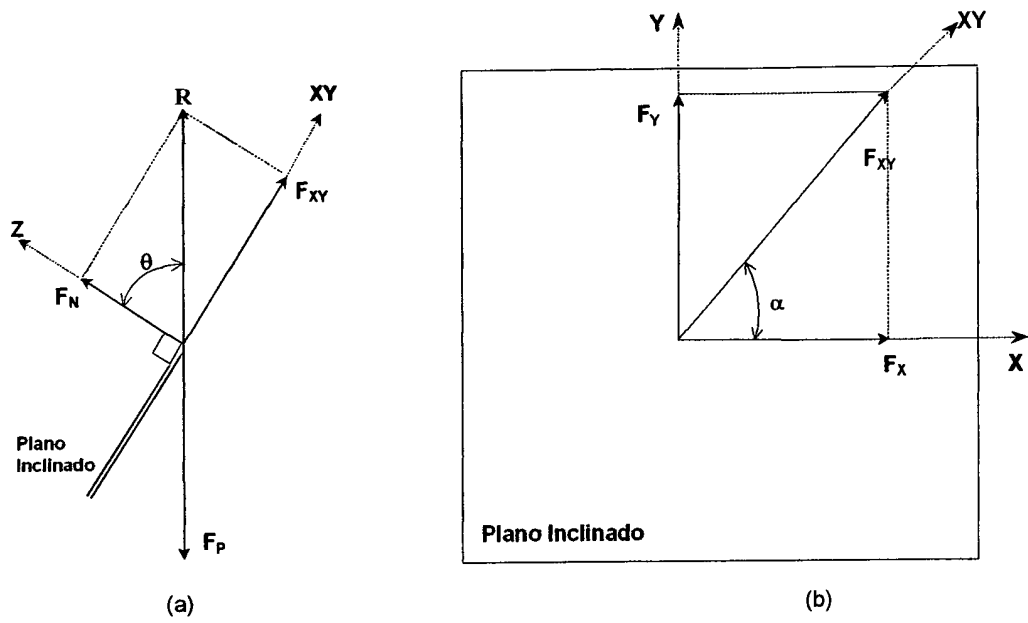


FIG. 3

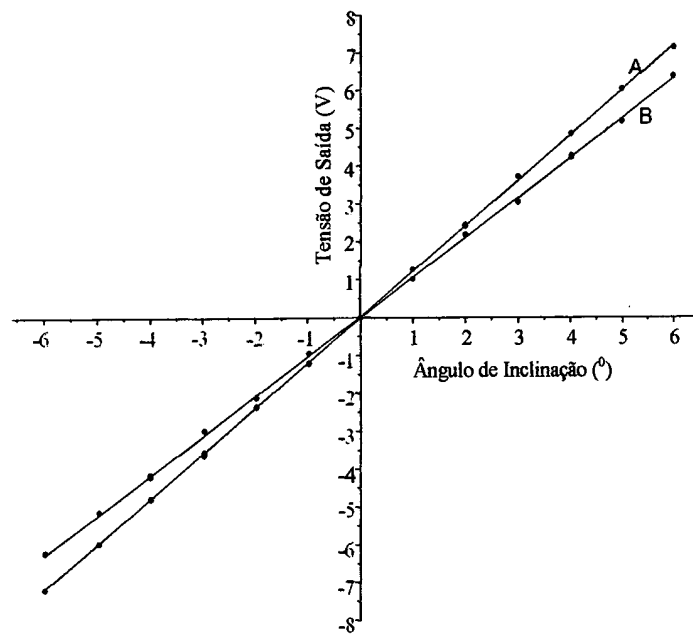


FIG. 4

RESUMO

“APARELHO PARA MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DE ESTRUTURAS DE GRANDE PORTE POR MEIO DE SENSOR DE DEFORMAÇÃO BIDIRECIONAL” compreendido

5 por um bloco (A) constituído de material metálico, possuindo quatro parafusos para fixar o sensor à estrutura, bem como possui grande resistência mecânica a deformação quando ocorre a inclinação da estrutura, de maneira que o bloco (A) está ligado ao bloco (B) por meio de parafusos internos, sendo o bloco (B) desenvolvido em

10 duralumínio, o qual sofre a ação de grandes tensões provocadas pela sensibilização decorrente da existência de dois orifícios retangulares (E) passantes que criaram as regiões sensoras (rs1) e (rs2), sendo que em cada região sensora existem duas membranas laterais ao orifício, de forma que, devido a sensibilização das regiões (rs1) e (rs2)

15 ocorrem deformações nas membranas provocadas por momento fletor decorrente da inclinação da estrutura, sendo que as deformações são percebidas pelos extensômetros resistivos colados nas faces externas das membranas. Pelo fato das membranas (rs1) e (rs2) serem ortogonais entre si, os extensômetros não percebem simultaneamente

20 a inclinação, a menos que ocorra em direção intermediária aos eixos X e Y, sendo que desta forma, a inclinação em direções intermediárias quaisquer também são detectadas e determinadas. Ao todo são dezesseis extensômetros correspondendo à existência de quatro Pontes de Wheatstone ligadas independentemente uma da outra, de

25 forma que cada grupo de quatro extensômetros (F) resistivos constituem uma Ponte de Wheatstone, sendo que a saída de cada Ponte de Wheatstone foi ligada a um circuito de condicionamento responsável pela amplificação, filtragem e retificação, sendo o circuito composto por uma Ponte de Wheatstone e por uma parte eletrônica.

As duas Pontes de Wheatstone localizadas em cada região sensora (rs1 e rs2), são independentes e denominadas de Principal e de Verificação.