



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

(21) BR 102015020962-2 A2

(22) Data do Depósito: 28/08/2015

(43) Data da Publicação: 07/03/2017



(54) Título: PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO

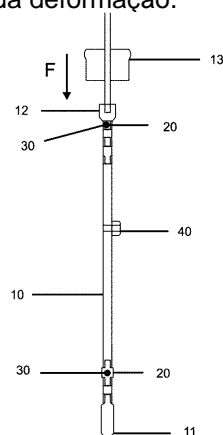
(51) Int. Cl.: G01N 3/30; G01N 3/34; G01N 27/00; G01N 33/24; G01N 37/00

(73) Titular(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO

(72) Inventor(es): IRÊNIO AMARO DA SILVA; ALEXANDRE CÉSAR RODRIGUES DA SILVA; TONY INÁCIO DA SILVA; LUIZ CARLOS DE FIGUEIREDO

(74) Procurador(es): FABÍOLA DE MORAES SPIANDORELLO

(57) Resumo: RESUMO PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO É descrita a invenção de um penetrômetro dinâmico leve eletrônico que compreende uma haste segmentada (10) com extremidade inferior dotada de um cone (11) e extremidade superior provida de uma cabeça (12) onde bate o martelo (13), caracterizado pelo fato dos segmentos da haste (10) serem conectados entre si por meio de uma luva (20), em dita haste (10) sendo disposta uma célula de carga de topo (30) fixada na extremidade superior da haste (10) abaixo da cabeça (12), e uma célula de carga de base (31) na extremidade inferior da haste (10) acima do cone (11) que apresenta sensores (Sh1, Sh2, Sv1, Sv2) fixados na haste (10), formando uma ponte de Wheatstone, ditos sensores que transformam a tensão de deformação mecânica em sinal de tensão elétrica, enviando o dado ao módulo eletrônico (ME) onde são processados de forma a indicar a força atuante na seção da haste (10), e um acelerômetro (40) instalado na haste (10) que envia os dados ao módulo eletrônico (ME) onde é processado de forma a indicar a aceleração adquirida pelas partículas no instante da deformação.



PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO

CAMPO DA INVENÇÃO

[01] A invenção descreve um penetrômetro dinâmico leve eletrônico - DPL (*Dynamic Probing Light*). Mais especificamente compreende um penetrômetro com sistema eletrônico que permite, em um ensaio dinâmico, medir a resistência do solo à penetração nas operações de sondagem geotécnica, empregando célula de carga e acelerômetro, verificando o processo de variação de energia, do topo, onde ocorre impacto, até o cone, no instante que ele é cravado no solo.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[02] O ensaio de campo SPT (*Standard Penetration Test*) consiste em realizar medida de resistência do solo à penetração dinâmica em conjunto com uma sondagem de simples reconhecimento. O procedimento é regulamentado pela ABNT – NBR 6484.

[03] O ensaio SPT tem por finalidade cravar no solo um amostrador padrão, com 50 mm de diâmetro externo. Na cravação, é usado um martelo com 65 kg de massa, acionado até uma altura de 750 mm por um dispositivo eletromecânico. Depois, o martelo é lançado em queda livre sobre uma haste que contém, numa extremidade, uma cabeça de bater e, na outra, o amostrador. Após a cravação inicial de 150 mm, é gerado o NSPT, que indica o número de golpes aplicados no equipamento para o amostrador penetrar 300 mm no solo.

[04] O SPT (*Standard Penetration Test*) é considerado o artefato de sondagem geotécnica mais empregado no mundo, dada a sua simplicidade, robustez e facilidade de aplicação dos seus resultados. É imbatível nas previsões de cargas para fundações de obras civis e militares. Tem preferência no ramo empresarial das construções, como engenharia geotécnica e engenharia de fundações. Como regra geral, o ensaio com equipamento SPT é indicado para solos granulares, com NSPT ≥ 5 ou quando se tratar de fundação com profundidade superior a 12 m.

[05] A instrumentação eletrônica do SPT, em 1970, permitiu realizar a medida da energia efetiva que impulsiona o cone do equipamento para baixo, cravando-o no solo [CAVALCANTE, E. H. Investigação teórica-experimental sobre o SPT. 2002. 410 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002].

[06] No Brasil, os primeiros estudos sobre energia transmitida no SPT foram desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), utilizando células elétricas de carga.

[07] Outros sistemas são utilizados para medidas de velocidade de impacto de martelo no SPT: *scanners* estrategicamente instalados no martelo; geração de pulsos elétricos utilizando fios paralelos; e utilização de filmadoras de alta velocidade [CAVALCANTE, E. H. Investigação teórica-experimental sobre o SPT. 2002. 410 f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2002].

[08] Uma alternativa viável que pode ser utilizada em parceria com o SPT e, em determinadas condições do solo, substituí-lo, é o DPL (*Dynamic Probing Light*), traduzido como Penetrômetro Dinâmico Leve, um equipamento portátil de sondagem geotécnica que surgiu como uma alternativa para auxiliar o ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) nos ensaios de resistência em solo mole à penetração, constituído por grãos finos, onde o $NNSP < 5$, podendo ser utilizado em ensaios com profundidades de até 12 m.

[09] Também conhecido como DCP (*Dynamic Cone Penetration Test*), o DPL surgiu na Alemanha no período da Primeira Guerra Mundial [HASMAT, A. Correlation of static cone penetration test results an dynamic probing test results: research study fot the data of south limurg. – the Netherlands. 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado) – International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences – ITC, Delft, 2000]. No final de 1945, o DPL passou a ser utilizado na França, Inglaterra, Portugal e em vários estados norteamericanos.

[010] Inicialmente, os penetrômetros foram projetados para uso no solo seco ou solo não saturado. Outras experiências com o uso do DPL na investigação geotécnica ocorreram com Nilsson (NILSSON, T. U. O penetrômetro portátil DPL Nilsson 2001. Hortolândia: Thomas Nilson Engenharia, 2011), usando uma versão europeia.

[011] O documento PI0301801 descreve um penetrômetro dinâmico leve com torquímetro constituído por um cone ou ponteira cônica; um martelo para cravação com massa de 10 kg, guiado por haste auxiliar de 22 mm de diâmetro, que deve cair em queda livre de uma altura de 500 mm sobre uma cabeça metálica com diâmetro de 55 mm e massa máxima de 1,695 kg. O parâmetro de medida foi N10, índice que informa o número de golpes aplicados na cabeça de bater para o cone penetrar 10 cm no solo. A medição pode alcançar 12 m de profundidade, em solo mole. É apropriado para ensaio em solo, onde $NNSP \leq 5$. As hastes para conexão das peças são maciças e segmentadas, cada uma tendo o comprimento máximo de 1 m, diâmetro de 20 mm e massa de 2,89 kg/m.

[012] O Penetrômetro DPL CEFET, confeccionado de acordo com as normas DIN 4094-1 [ÁVILA; CONCIANI, 2006^a], apresenta unidades constituídas por uma haste oca de borda grossa, com 4 mm de espessura, 1 m de comprimento e 22 mm de diâmetro externo. A haste é segmentada e adaptável a outras peças por meio de rosca interna; o martelo possui massa de 10 kg que, no ensaio, deve se deslocar 500 mm de altura, em queda livre, através de uma haste guia com 22 mm de diâmetro; apresenta uma cabeça de bater com 0,70 kg de massa e 50 mm de diâmetro; um cone cilíndrico com 112 cm² de área lateral; a base mede 37 mm de diâmetro; o comprimento total é de 100 mm, com 22,8 mm de comprimento da ponta, 6,25 kg de massa; e a ponta do cone tem ângulo de 45 graus com a geratriz.

[013] O Penetrômetro tipo PANDA (*Pénétromètre Autonome Numérique Dynamique Assisté par Ordinateur*) é um equipamento construído pela

companhia *Soil Solution*, em parceria com o laboratório de Engenharia Civil LERMES/CUST da Universidade Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, na França. Como ferramenta, apresenta várias particularidades que diferem de outros PDL convencionais. O PANDA é portátil, leve e prático, desenvolvido para controle de compactação e investigação geotécnica de solo. O controle é feito através da avaliação da resistência de ponta (qd) e da caracterização das camadas do solo. O local é analisado com base nas amostras, utilizando um *software* específico depois que o solo é conhecido.

[014] No entanto, é fundamental a padronização dos penetrômetros, que é altamente dependente da avaliação da energia transferida às hastes em cada golpe do martelo, provendo a precisão da medida de resistência do solo à penetração.

[015] Dessa forma, é objeto da presente invenção um penetrômetro dinâmico leve eletrônico dotado de sensores de deformação e de deslocamento para medição da força gerada e da velocidade provocada pela deformação da haste do equipamento.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[016] A figura 1 apresenta a vista frontal do penetrômetro.

[017] A figura 2 apresenta detalhamento da ligação em série dos sensores.

[018] A figura 3 apresenta representação esquemática do fluxo de dados para processamento.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[019] O penetrômetro dinâmico leve eletrônico, objeto da presente invenção, compreende uma haste segmentada (10) com segmentos conectados entre si por meio de uma luva (20), dita haste (10) que apresenta extremidade inferior dotada de um cone (11) e extremidade superior provida de uma cabeça (12) onde bate o martelo (13).

[020] Uma célula de carga de topo (30) é fixada na extremidade superior da haste (10) abaixo da cabeça (12), e uma célula de carga de base (31) é fixada na extremidade inferior da haste (10) acima do cone (11).

[021] Preferentemente, as células de carga (30) e (31) são fixadas na superfície da luva (20), de modo que a tensão produzida pela força (F) do impacto do martelo (13) seja distribuída uniformemente, com os efeitos de deformação transmitidos aos sensores das células de carga (30) e (31).

[022] As células de carga (30) e (31) compreendem um par de sensores de deformação dispostos na vertical (Sv1) e (Sv2) e um par de sensores de deformação dispostos na horizontal (Sh1) e (Sh2), onde cada sensor vertical se conecta ao sensor horizontal disposto na mesma luva (20), formando uma ponte de Wheatstone.

[023] Dessa forma, em cada luva (20) são previstos sensores horizontais Sh1 e Sh2 e os sensores verticais Sv1 e Sv2, com o primeiro braço da ponte de Wheatstone se formando mediante a ligação de Sv1 em série com Sh2, e o segundo braço da ponte mediante a ligação de Sv2 com Sh1.

[024] O primeiro circuito elétrico formado pela ligação em ponte destina-se à alimentação elétrica dos sensores (Sh1, Sh2, Sv1, Sv2) e o segundo circuito elétrico conduz o sinal elétrico gerado pelos sensores (Sh1, Sh2, Sv1, Sv2) quando transformam tensão de deformação mecânica em sinal de tensão elétrica.

[025] A ponte de Wheatstone se conecta eletricamente com o sistema eletrônico através de um cabo específico onde dois fios se conectam aos dois terminais do primeiro circuito da ponte para alimentação elétrica do primeiro circuito elétrico e o terceiro e quarto fios se conectam aos outros dois terminais do segundo circuito da ponte.

[026] As células de carga (30) e (31) preferentemente apresentam uma luva externa para proteção.

[027] Um acelerômetro (40) é instalado na haste (10) do equipamento para determinar a aceleração de partículas no instante em que ocorre uma deformação em dada seção da peça produzida por uma força ou por uma onda de tensão gerada pelo impacto do martelo (13) na cabeça (12) da haste (10).

[028] Preferentemente, no acelerômetro (40) é conectado um regulador de tensão (não representado) para garantir a alimentação de qualidade e mínima oscilação, com alimentação por uma bateria.

[029] Preferentemente o acelerômetro (40) é encapsulado.

[030] Na cabeça da haste (10) é impactado um martelo (13) de forma que a propagação da onda de tensão mecânica gera deformações no segmento da haste (10). A força (F) produzida pelo impacto do martelo (13) causa uma deformação na luva (20) e gera uma onda de compressão que propaga ao longo de cada segmento da haste (10).

[031] Os sensores (Sh1, Sh2, Sv1, Sv2) fixados na haste (10) transformam essa tensão de deformação mecânica em sinal de tensão elétrica, enviando o dado ao módulo eletrônico (ME) onde os dados são processados de forma a indicar a força atuante na seção da haste (10).

[032] O dado obtido pelo acelerômetro (40) é enviado ao módulo eletrônico (ME) onde é processado de forma a indicar a aceleração adquirida pelas partículas no instante da deformação.

[033] O módulo eletrônico (ME) apresenta pelo menos dois amplificadores (amp) e um filtro (fil) onde os dados são condicionados para serem em seguida processados no processador (proc) para visualização em um visor.

REIVINDICAÇÕES

1. PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO que compreende uma haste segmentada (10) com extremidade inferior dotada de um cone (11) e extremidade superior provida de uma cabeça (12) onde bate o martelo (13), **caracterizado pelo** fato dos segmentos da haste (10) serem conectados entre si por meio de uma luva (20), em dita haste (10) sendo disposta uma célula de carga de topo (30) fixada na extremidade superior da haste (10) abaixo da cabeça (12), e uma célula de carga de base (31) na extremidade inferior da haste (10) acima do cone (11), ditas células de carga (30) e (31) que compreendem um par de sensores de deformação dispostos na vertical (Sv1) e (Sv2) e um par de sensores de deformação dispostos na horizontal (Sh1) e (Sh2), onde cada sensor vertical se conecta ao sensor horizontal disposto na mesma luva (20), formando uma ponte de Wheatstone que se conecta eletricamente com o módulo eletrônico (ME); um acelerômetro (40) instalado na haste (10) do equipamento envia o dado obtido ao módulo eletrônico (ME) onde é processado de forma a indicar a aceleração adquirida pelas partículas no instante da deformação, dito módulo eletrônico (ME) que apresenta pelo menos dois amplificadores (amp) e um filtro (fil) onde os dados são condicionados para serem em seguidos processados no processador (proc) para visualização em um visor.
2. PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato das células de carga (30) e (31) serem fixadas na superfície da luva (20).
3. PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato das células de carga (30) e (31) apresentarem uma luva externa.
4. PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de apresentar um regulador

de tensão (não ilustrado) conectado no acelerômetro (40).

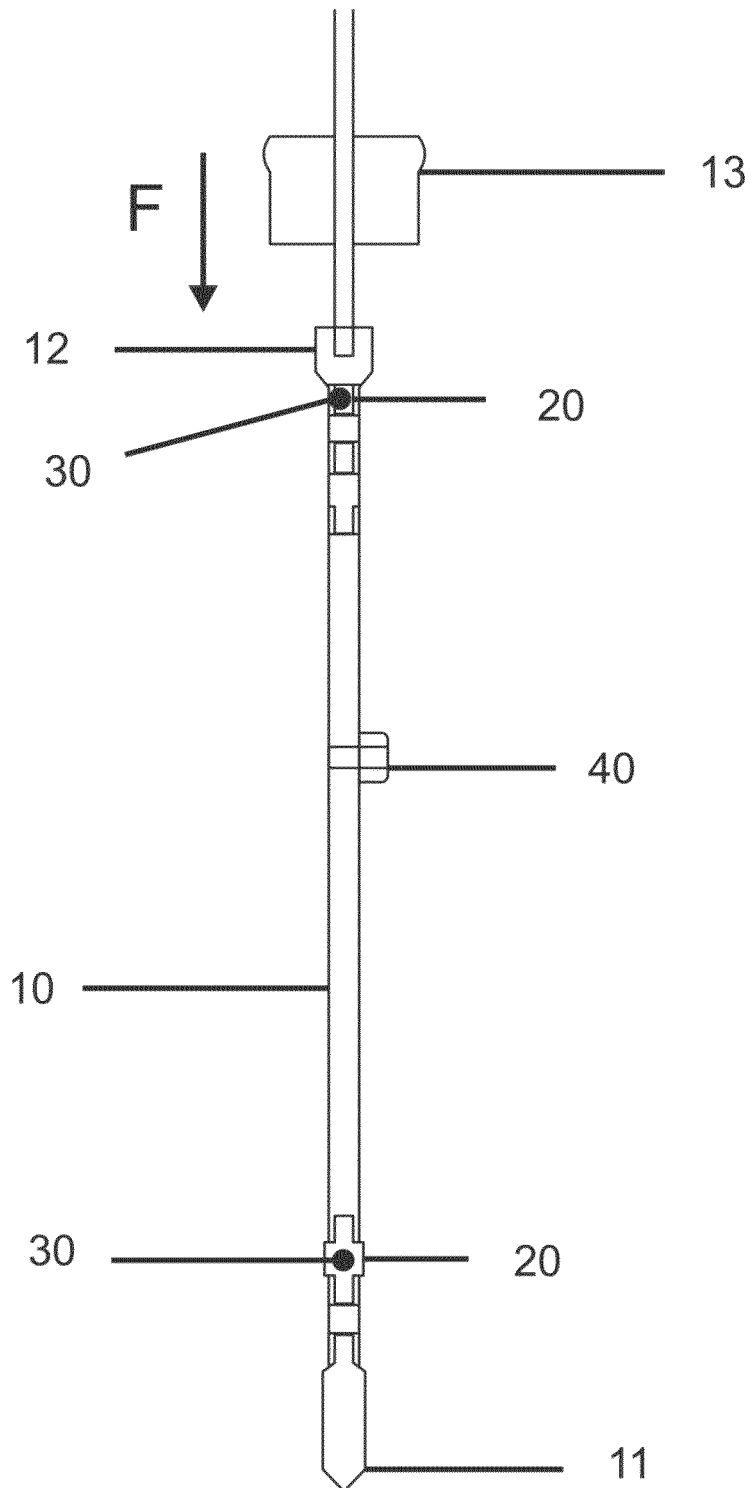


Fig. 1

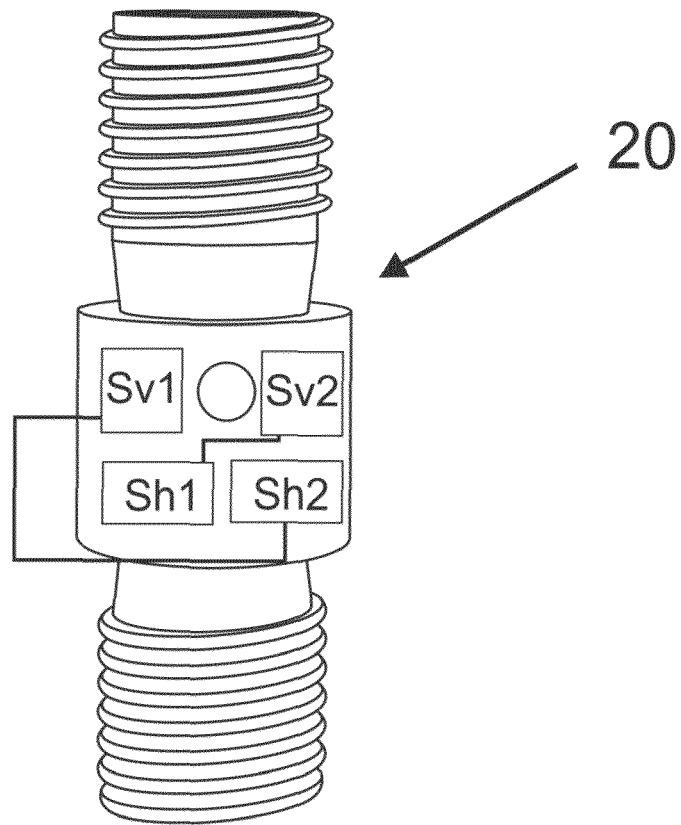


Fig. 2

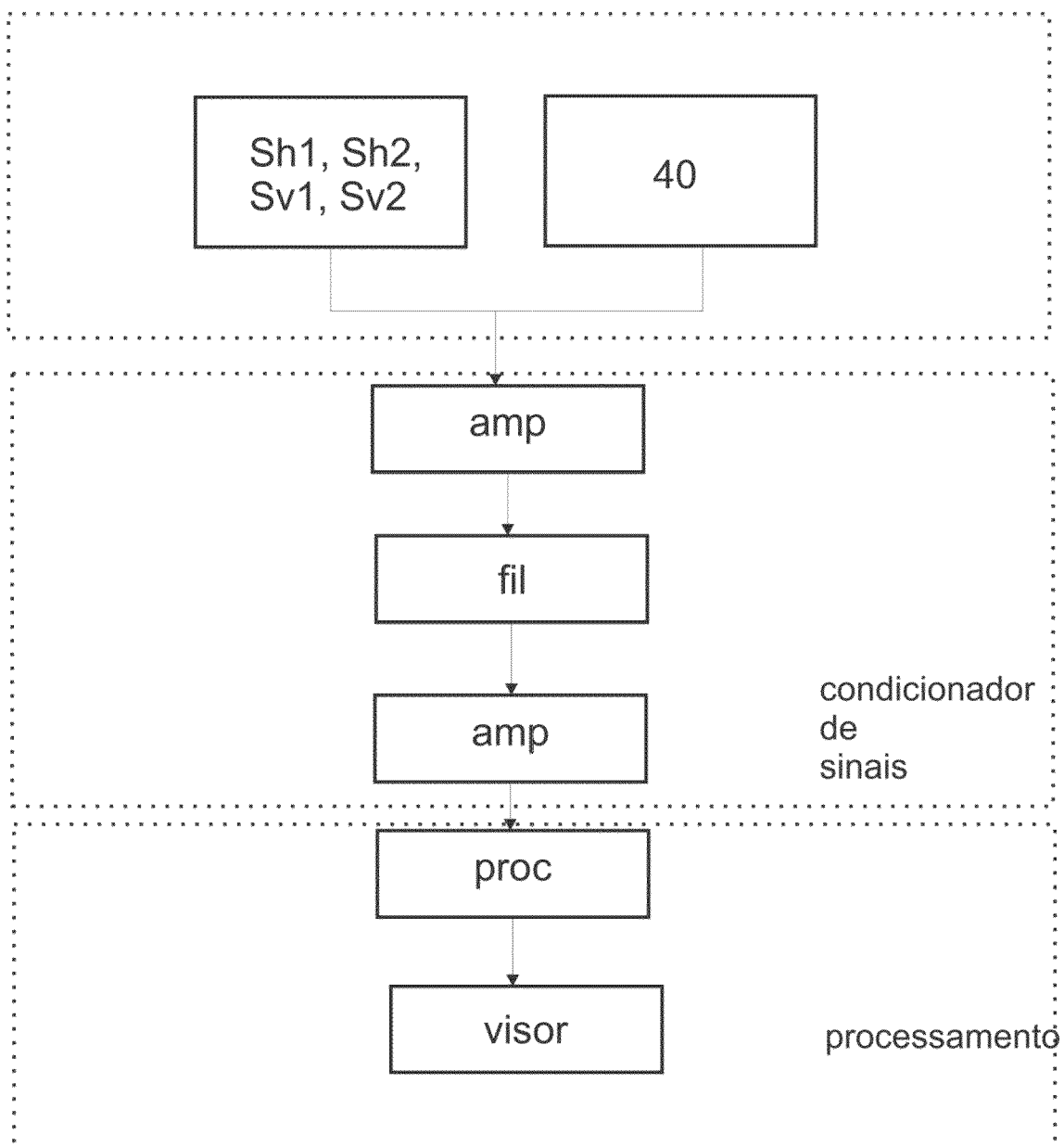


Fig. 3

RESUMO

PENETRÔMETRO DINÂMICO LEVE ELETRÔNICO

É descrita a invenção de um penetrômetro dinâmico leve eletrônico que compreende uma haste segmentada (10) com extremidade inferior dotada de um cone (11) e extremidade superior provida de uma cabeça (12) onde bate o martelo (13), caracterizado pelo fato dos segmentos da haste (10) serem conectados entre si por meio de uma luva (20), em dita haste (10) sendo disposta uma célula de carga de topo (30) fixada na extremidade superior da haste (10) abaixo da cabeça (12), e uma célula de carga de base (31) na extremidade inferior da haste (10) acima do cone (11) que apresenta sensores (Sh1, Sh2, Sv1, Sv2) fixados na haste (10), formando uma ponte de Wheatstone, ditos sensores que transformam a tensão de deformação mecânica em sinal de tensão elétrica, enviando o dado ao módulo eletrônico (ME) onde são processados de forma a indicar a força atuante na seção da haste (10), e um acelerômetro (40) instalado na haste (10) que envia os dados ao módulo eletrônico (ME) onde é processado de forma a indicar a aceleração adquirida pelas partículas no instante da deformação.