



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102021025365-7 A2

(22) Data do Depósito: 16/12/2021

(43) Data da Publicação Nacional:
27/06/2023

(54) Título: SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES

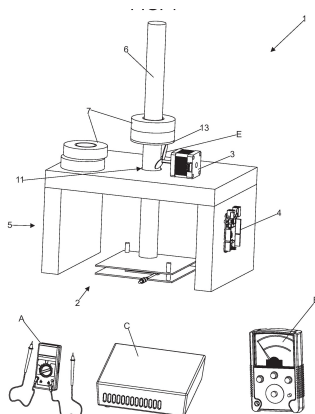
(51) Int. Cl.: G01D 21/02; G01N 3/02; G01N 3/32.

(52) CPC: G01D 21/02; G01N 3/02; G01N 3/32.

(71) Depositante(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO.

(72) Inventor(es): RAFAEL APARECIDO DA SILVA; MIGUEL HENRIQUE BORATTO; CARLOS FREDERICO DE OLIVEIRA GRAEFF.

(57) Resumo: SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES. Descreve a invenção de um sistema automatizado que compreende um equipamento de compressão (1) cíclica que utiliza uma placa de Arduino (4) para automatização do motor de passo (3) com uma engrenagem (E) acoplada responsável por fazer uma barra (6) cilíndrica, com diferentes massas (7) na forma de anéis, subir e descer sobre um sistema de medição de resposta elétrica (2) de determinada amostra (12) de material entremeadada entre os eletrodos (8) localizados nas bases (15). A ligação entre o equipamento de compressão (1) cíclica e o sistema de medição de resposta elétrica (2) por meio de conectores (10) a equipamentos de medição elétrica possibilitam leituras com maior controle de pressão, tempo, repetitividade e maior relação sinal/ ruído.



“SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES”

Campo da invenção

[0001] O presente pedido de depósito de patente descreve a Invenção de um sistema automatizado representado por um equipamento de aplicação de compressão controlada de pressão, integrado a um sistema que mede a resposta elétrica de determinada amostra de material submetida ao teste compressivo cíclico no equipamento propriamente dito.

[0002] O sistema foi projetado para uso em laboratórios de pesquisas e de empresas, para caracterização de amostras de materiais que apresentem diferentes propriedades elétricas sob variações de compressões mecânicas, tanto na fase de desenvolvimento de um novo material quanto na fase de controle de qualidade de um material já existente.

[0003] Em uma forma de viabilização da invenção, amostras como chapas metálicas, condutores flexíveis, folhas condutoras, pastilhas e fitas condutoras são usadas para demonstração do sistema. Tais amostras apresentam grande variação nas suas propriedades elétricas quando sob compressão.

Estado da técnica

[0004] A medição da condutividade elétrica de materiais quando submetidos a tensões mecânicas é importante na área de ciências dos materiais, para verificar o comportamento dos mesmos e encontrar a melhor aplicação de acordo com os resultados apresentados.

[0005] O sistema de pressão apresentado em tese de doutorado (*University of Nebraska*, 2012)

(<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1036&context=mechengdiss>), une medidas elétricas a uma máquina universal de ensaio. A medida elétrica é feita na amostra somente antes e/ ou após a tração da amostra, de forma não simultânea.

[0006] Na anterioridade acima, a tração é sempre unidirecional. Para a caracterização elétrica as amostras eram recobertas com tinta condutora para obtenção do contato elétrico.

[0007] Ainda na anterioridade da *University of Nebraska*, a amostra é submetida ao equipamento de tração mecânica na vertical, enquanto a ponta de prova é colocada em contato para determinar suas características elétricas. Em seguida a ponta de prova é retirada do contato com a amostra e a mesma é submetida ao processo de tração, e posteriormente analisada pela ponta de prova para determinar o novo valor de condutividade elétrica. O processo se repete até o rompimento da amostra.

[0008] A tese da anterioridade se distingue do pedido de patente ora reivindicado pelas diferenças significantes no ensaio mecânico (longitudinal X transversal; tração X compressão), medidas elétricas (método de quatro pontas X seção transversal), e conjunção destas, de forma que o sistema de pressão apresentado na tese não realiza medida elétrica simultânea a tração, enquanto o pedido de patente ora reivindicado foca na simultaneidade da medida elétrica da amostra de material e compressão.

[0009] O sistema de pressão vendido comercialmente (Mark-10 modelo ESM) (https://mark-10.com/products/motorized-test-stands/?gclid=CjwKCAjw9r-DBhBxEiwA9qYUpbo_CLyHlrkO_5xaJ23-kmco3wH7jBUmppraYxSkJZWvm0WWs1qKyBoCUa8QAvD_BwE&gclsrc=aw.ds) é um sistema automatizado de compressão e estiramento. Este equipamento realiza a compressão e o estiramento de forma controlada e automatizada, com sensor de força integrado, com um *range* de força mínima de 1,5 KN e máxima de 6,7 KN. O sistema não possui um sistema de caracterização elétrica integrado.

[0010] O equipamento Mark-10 modelo ESM apresenta uma construtividade complexa uma vez que tem como foco precisão no controle da compressão.

[0011] O sistema para medidas de condutividade elétrica de pó sob compressão (Artigo científico: *Electrical conductivity of carbonaceous powders*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622302001963>) é um sistema que mede a condutividade elétrica de pós quando submetidos ao processo de compressão. Neste sistema, embora haja uma conjunção da medição elétrica da amostra (pó) sob deformação (pressão / compactação), o sistema não apresenta nenhuma automatização quanto a processos repetitivos, controle do tempo de

aplicação / remoção de pressão, e tampouco caracterizações elétricas mais avançadas como impedância elétrica quando acoplado a um equipamento com esta característica.

[0012] O sistema do trabalho da anterioridade possui uma pressão mínima de 124 KPa e máxima de 1,11 MPa, e é desenvolvido para compressão de pó, com volume cilíndrico definido, área de eletrodos circular, sem a possibilidade de troca de eletrodo ou utilização de amostra de outros tamanhos.

[0013] Face ao exposto acima, o estado da técnica antecipa sistemas para ensaios cíclicos de compressão, mas sem o controle da caracterização elétrica das amostras de materiais ensaiadas.

Sumário da invenção

[0014] O sistema automatizado pleiteado é representado por um equipamento que realiza uma compressão cíclica controlada por uma placa de Arduino, automatizado por um motor de passo acoplado a uma engrenagem. O sistema de medição de resposta elétrica realiza a leitura da pressão realizada na amostra do material e também a leitura de grandezas elétricas emitidas pelo material propriamente dito durante a compressão. Para a medição da corrente ou da resistência elétrica um multímetro ou um eletrômetro podem ser utilizados, ao passo que para a medição da impedância ou capacitância elétrica é necessário acoplar um impedancímetro ao equipamento de compressão. A automatização permite o controle preciso do tempo dos ciclos de compressão, assim como da pressão aplicada em cada ciclo, além de possibilitar a repetitividade e reprodutibilidade dos testes.

[0015] Dessa forma, é possível realizar a caracterização de diferentes materiais, a fim de verificar a resposta elétrica destes materiais quando são submetidos a compressão.

[0016] O sistema permite a caracterização de diferentes materiais a fim de verificar a resposta elétrica dos mesmos quando submetidos a compressão. Dentre esses pode-se caracterizar materiais como: condutores flexíveis, chapas metálicas, fitas condutoras, folhas condutoras, pastilhas e materiais isolantes. Destes materiais é possível medir as variações de resistividades elétricas, impedância elétrica e capacitância durante o processo de compressão.

Descrição das figuras

[0017] Na sequência são apresentadas as figuras para melhor explicar o pedido de patente de forma ilustrativa e não limitativa:

Figura 1: Vista esquemática do sistema automatizado de medida elétrica de materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões, com destaque para o sistema automatizado de pressão e o sistema de medição elétrica simultânea.

Figura 2: Vista em perspectiva dos eletrodos do sistema automatizado de medida elétrica de materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões.

Figura 3: Vista em elevação dos eletrodos do sistema automatizado de medida elétrica de materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões.

Figura 4: Vista em elevação do sistema automatizado de medida elétrica de materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões, ilustrando sequência de atuação do motor de passo na haste/ amostra do material.

Figura 5: Representação gráfica da variação de corrente em pastilha de polianilina submetida a pressões de 0,91 kPa e 17,7 kPa.

Figura 6: Representação gráfica da variação da corrente elétrica de um corpo de prova sob compressão.

Figura 7: Representação gráfica de diferentes intervalos de tempo de compressão.

Figura 8: Representação gráfica de resultados de medidas elétricas do sistema automatizado de medida elétrica de materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões utilizando diferentes equipamentos (Autolab®, multímetro Fluke e *Source / measurement unit* Keithley 2440®), medidas realizada durante ciclos automatizados de compressão (9KPa).

Figura 9: Representação gráfica de resultados de medidas elétricas do sistema automatizado de medida elétrica de diferentes materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões de 50%, $t_{cp} = 10s$ e $t_{sp} = 10s$.

Descrição da invenção

[0018] O “**SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES**”, objeto desta solicitação de patente de invenção compreende duas partes, um sistema automatizado representado por um equipamento de compressão (1), e um sistema de

medição de resposta elétrica (2). Conforme ilustrado na figura 1, o sistema automatizado representado pelo equipamento de compressão (1) cíclica é composto por um motor de passo (3), Arduino (4), mesa (5) de apoio, barra (6) cilíndrica e massas nas formas de anéis (7), ao passo que o sistema de medição da resposta elétrica (2) é composto por eletrodos (8), preferencialmente de *Indium Tin Oxide* (ITO) ou metais condutores como cobre ou alumínio, fios (9) condutores com conectores (10) para ligação em equipamentos de medição da variação da corrente ou resistência elétrica em função da pressão aplicada, como multímetros (A) e eletrômetros (B) para obtenção de impedância e capacitância elétrica, impedancímetro (C) pode ser acoplado.

[0019] No equipamento de compressão (1), o Arduino (4) é utilizado para automatização do motor de passo (3) com uma engrenagem (E) acoplada que faz a barra (6) cilíndrica, com diferentes massas nas formas de anéis (7), subir e descer. A mesa (5) de apoio com orifício (11) central serve de suporte para o motor de passo (3) e Arduino (4) e para viabilizar a movimentação vertical da barra (6) cilíndrica com as massas (7) na forma de anéis ancoradas em um patamar (13). Conforme ilustrado nas figuras 2 e 3, eletrodos (8) de ITO, ou metais como cobre e alumínio, do sistema de medição de resposta elétrica (2) sobposto ao equipamento de compressão (1), são posicionados acima e abaixo da amostra (12) de material em análise para coleta da resposta elétrica em função da pressão aplicada / retirada. Dois pinos (14) servem como guias para nivelamento das bases (15), que comportam os eletrodos (8), e exercem pressão homogênea na amostra (12) de material. As dimensões dos eletrodos (8) podem ser facilmente alteradas de acordo com o tamanho das amostras (12) de materiais em análise. O eletrodo (8) a ser removido dá lugar ao eletrodo (8) com tamanho diferente, obedecendo o alinhamento nas bases (15).

[0020] O sistema de medição de resposta elétrica (2) pode ser efetivado por equipamento com aplicação de potencial elétrico para medida de variação de corrente ou resistência elétrica em função da compressão. Multímetros (A) medem a alteração na resistência elétrica na amostra do material sob compressão.

[0021] O sistema pode utilizar diversos tamanhos de mesa (5) e diversas massas (7) na forma de anéis para aumento da pressão na amostra (12) de material em análise. A limitação máxima é dada pela força que o motor de passo (3) e respectiva engrenagem (E) podem levantar e sustentar. A limitação mínima é dada pela massa da barra (6) cilíndrica.

[0022] Os componentes utilizados no sistema automatizado representado pelo equipamento de compressão (1) podem ser alterados / substituídos, como, por exemplo: Arduino (4) nano pode ser substituído por outras placas similares e genéricas; mesa (5) de apoio pode ser feita em materiais metálicos, granito ou madeira; eletrodos (8) podem ser feitos por placas de cobre ou outro metal condutor, como alumínio; barra (6) cilíndrica metálica e massas (7) na forma de anéis podem ser feitas de tamanhos, materiais e massas diferentes; motor de passo (3) pode ser substituído por outro modelo de maior potência caso sejam utilizadas maiores massas.

[0023] A pressão mínima pode ser facilmente alterada ao usar barra (6) cilíndrica com menor tamanho e densidade. O tamanho da barra (6) cilíndrica pode ser reduzido conforme a altura da mesa (5) também seja reduzida. Para redução da pressão, o material da barra (6) cilíndrica, aço inoxidável, pode ser de dimensão ou material diferente, como o alumínio. Pode-se ainda aumentar o tamanho, área superficial, dos eletrodos (8) e tamanho de amostra (12) do material.

[0024] O equipamento de medidas elétricas pode ser de qualquer modelo ou marca, desde que meçam corrente elétrica e/ ou resistência elétrica. Alguns destes equipamentos são multímetros (A) digitais, eletrômetros (B) e outros como impedancímetro (C) para caracterizações diversas como impedância e capacitância elétrica.

Exemplos de concretização da invenção

[0025] O sistema de compressão, possui um motor de passo passível de troca de tal forma a adequar a necessidade de torque, ou seja, maior ou menor força para levantamento de massas, e assim adequar o nível de pressão no sistema. Anteriormente foi utilizado um motor de passo modelo 28BYJ-48 (Driver ULN2003) e atualmente o motor de passo em uso é um NEMA 17 (modelo JK42HS40-1004AC) com

um torque máximo de 4,8 Kg.cm. A alavanca ligada ao eixo do motor de passo possui 3 cm de comprimento e é responsável pelo levantamento da haste, responsável pela compressão do corpo de prova. Com isso, o sistema pode alavancar uma haste de até 1,6 Kg.

[0026] A pressão realizada no corpo de prova depende diretamente da massa da haste utilizada. A área dos eletrodos em que o corpo de prova é submetido é de 1,5 cm², portanto o sistema atinge uma pressão máxima de 104,5 KPa para uma haste de 1,6 Kg. E uma pressão mínima de 0,91 KPa obtida utilizando uma haste de 14 g, composta de plástico e vidro.

[0027] O gráfico da figura 5 apresenta a resposta elétrica de uma pastilha de Polianilina com 1,3 mm de espessura submetida a pressões de 0,9 kPa e 17,7 kPa. A resposta de variação da corrente depende diretamente das características, intrínsecas e geométricas, do material submetido ao ensaio.

[0028] O sistema possui intervalos de tempo de compressão, com tempo mínimo em que o corpo de prova pode permanecer com pressão (t_{CP}), de 0,20 segundos, e o intervalo mínimo de tempo em que o sistema permanece sem aplicar pressão no corpo de prova (t_{SP}), de 1,40 segundos. Conforme demonstrado no gráfico da figura 6.

[0029] A partir do intervalo de tempo mínimo do sistema com e sem pressão, conforme apresentado na figura 6, diversas combinações de intervalos de tempos podem ser obtidas, com variações de tempo de milissegundos até horas ou dias. Algumas opções de diferentes intervalos de tempo do corpo de prova com e sem pressão, são apresentados na figura 7. Alterações no tempo em que a amostra está comprimida ou não, podem ser associadas a diferentes ciclos de trabalho (*duty cycle*).

[0030] Os intervalos de tempos utilizados na figura 7, foram selecionados de forma arbitrária. Os intervalos de tempo podem ser determinados pelo usuário do sistema, de acordo com suas necessidades. A curva vermelha apresenta menor tempo de compressão ($t_{CP}=0,30s$) e um maior intervalo de tempo sem compressão ($t_{SP} = 10s$) - *Duty cycle* de 2,9%. A curva azul apresenta um maior tempo de compressão ($t_{CP}=10s$) e um menor tempo sem compressão ($t_{SP} = 1,30s$) - *Duty cycle* de 88,5%.

[0031] Testes realizados utilizando o sistema automatizado de medida elétrica de materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões são apresentados na figura 8. Os resultados encontrados são superiores em comparação ao uso de um sistema manual. A automatização apresenta controle preciso do tempo de aplicação da pressão e reprodutibilidade de centenas de milhares de ciclos na pressão e modo de aplicação, com redução de ruído.

[0032] A precisão e controle de pressão aplicada ao decorrer do tempo, pode ser observada no gráfico (8a) da figura 8, o sistema está automatizado para aplicar e retirar uma pressão de 9 KPa a cada dez segundos. A resposta elétrica, além da pressão aplicada, depende diretamente do material da amostra (12) a ser analisada.

[0033] No gráfico (8b) da figura 8 é demonstrado um processo de caracterização de um material flexível condutor com diferentes equipamentos de medição elétrica integrados ao sistema de compressão automatizado. A quantidade de pontos da resposta elétrica por unidade de tempo depende diretamente da resolução temporal do sistema de medição elétrica que está integrado ao equipamento de compressão automatizado, porém é possível notar a versatilidade na integração de diferentes equipamentos de medição elétrica.

[0034] No gráfico (8c) da figura 8 é apresentado alternativas de caracterizações elétricas a serem realizadas para diferentes tipos de amostras (12) de materiais, enquanto submetidas ao processo automatizado de compressão. Dentre essas alternativas, a espectroscopia de impedância elétrica da amostra (12) de material sob ciclo de compressão é apresentada.

[0035] Testes realizados utilizando o sistema automatizado de medida elétrica de materiais submetidos simultaneamente a variações de compressões com ciclo de 50%, $t_{cp} = 10s$ e $t_{sp} = 10s$ são apresentados na figura 9.

[0036] No gráfico (9a) da figura 9 é apresentado o gráfico para o elastômero condutor.

[0037] No gráfico (9b) da figura 9 é apresentado o gráfico para a pastilha de polianilina.

[0038] No gráfico (9c) da figura 9 é apresentado o gráfico para o papel alumínio.

[0039] No gráfico (9d) da figura 9 é apresentado o gráfico para a fita dupla face de cobre.

REIVINDICAÇÕES

- 1) **“SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES”**, compreende um sistema automatizado representado por um equipamento de compressão (1) cíclica **caracterizado** por ser integrado a um sistema de medição de resposta elétrica (2) composto por eletrodos (8), fios (9) condutores com conectores (10) para ligação em equipamentos de medição da variação da corrente ou resistência elétrica (DC) em função da pressão aplicada/ retirada.
- 2) **“SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES”** de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** pelos eletrodos (8) de ITO, ou metais como cobre e alumínio, do sistema de medição de resposta elétrica (2) sobposto ao equipamento de compressão (1), serem posicionados acima e abaixo da amostra (12) de material em análise.
- 3) **“SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES”** de acordo com a reivindicação 2 **caracterizado** por dois pinos (14) servirem como guias para nivelamento das bases (15), que comportam os eletrodos (8).
- 4) **“SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES”** de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** pela medição da variação da corrente ou resistência elétrica em função da pressão aplicada, por multímetros (A) e eletrômetros (B); para impedância e capacitância elétrica, impedancímetro (C) pode ser acoplado.
- 5) **“SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES”** de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** por no equipamento de compressão (1), o Arduino (4) ser utilizado para automatização do motor de passo (3) com uma engrenagem (E) acoplada que faz a barra (6) cilíndrica, com diferentes massas nas formas de anéis (7), subir e descer; a mesa (5) de apoio com orifício (11) central serve de suporte para o motor de passo (3) e arduino (4) e para viabilizar a movimentação

vertical da barra (6) cilíndrica com as massas (7) na forma de anéis ancoradas em um patamar (13).

FIG. 1

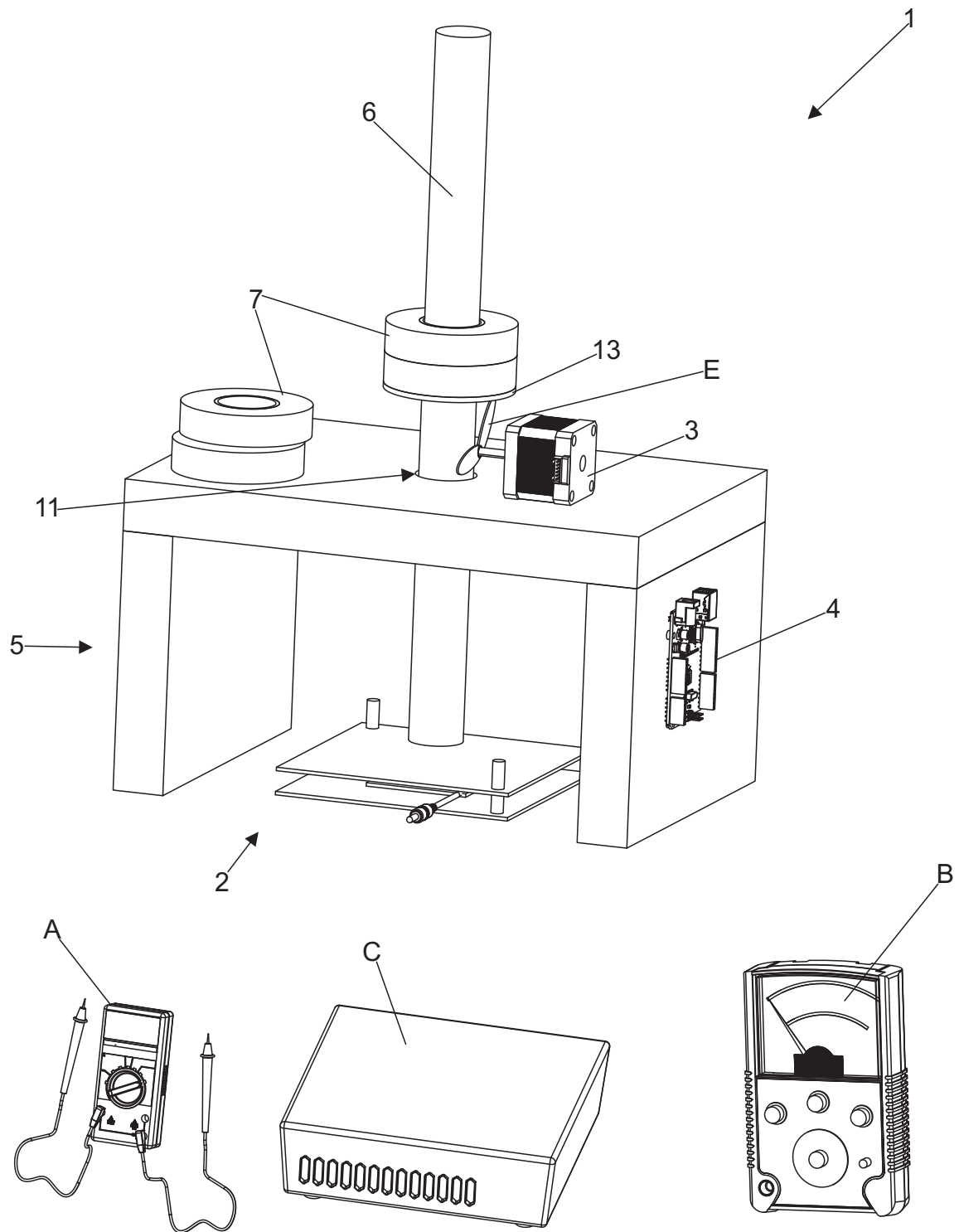


FIG. 2

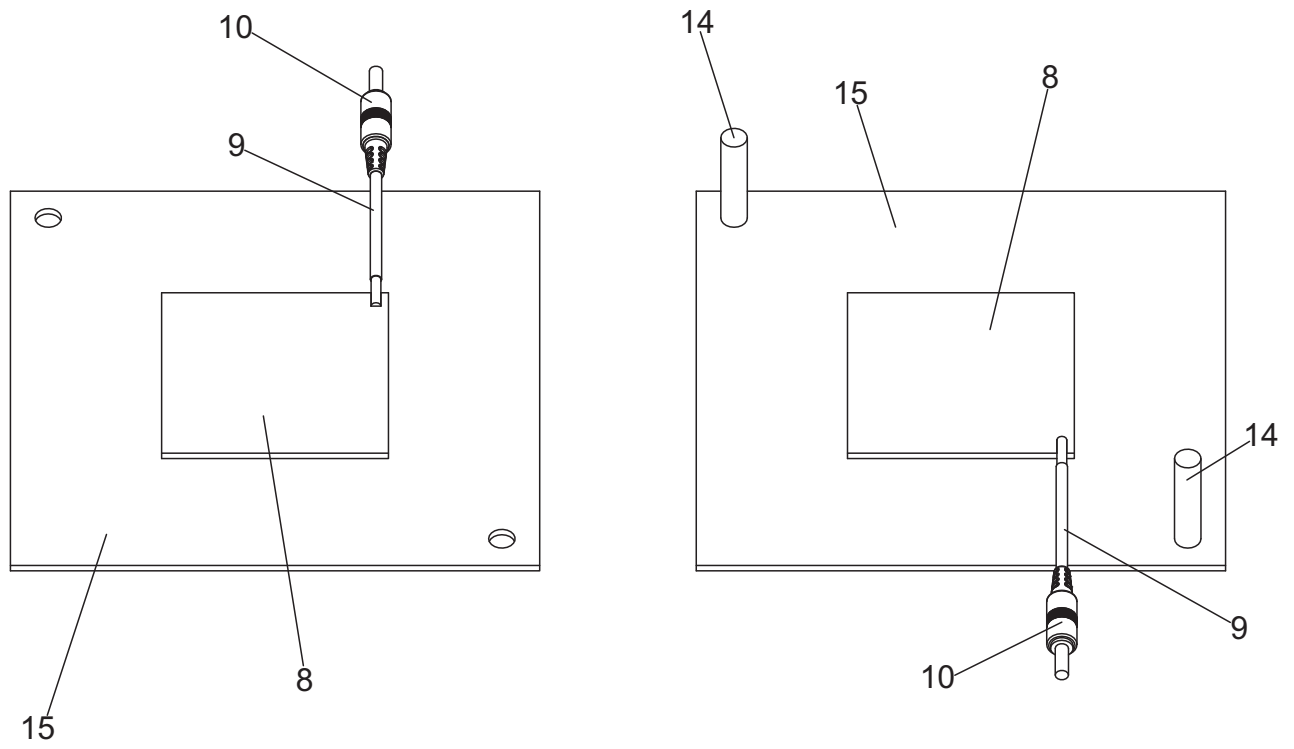


FIG. 3

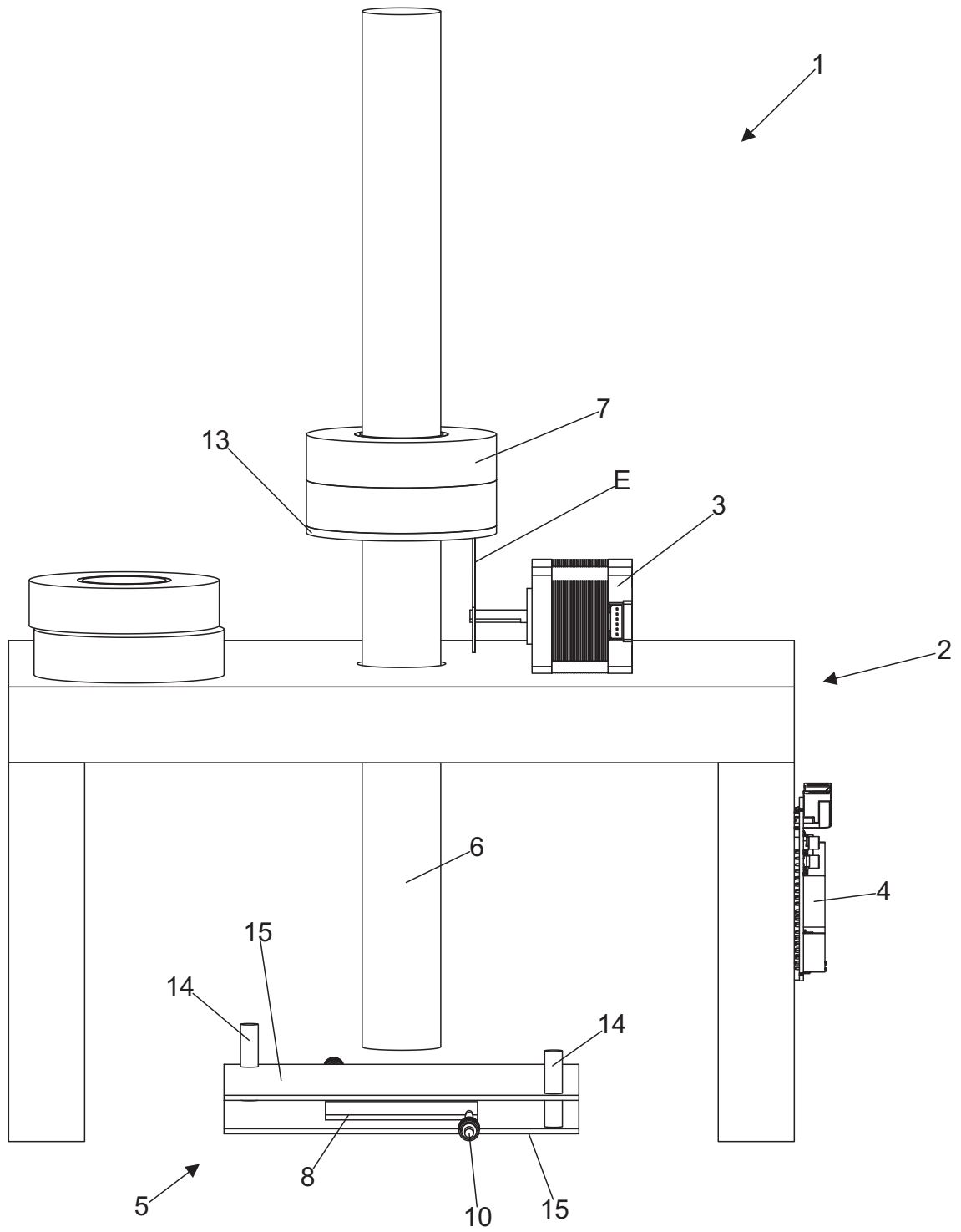


FIG. 4

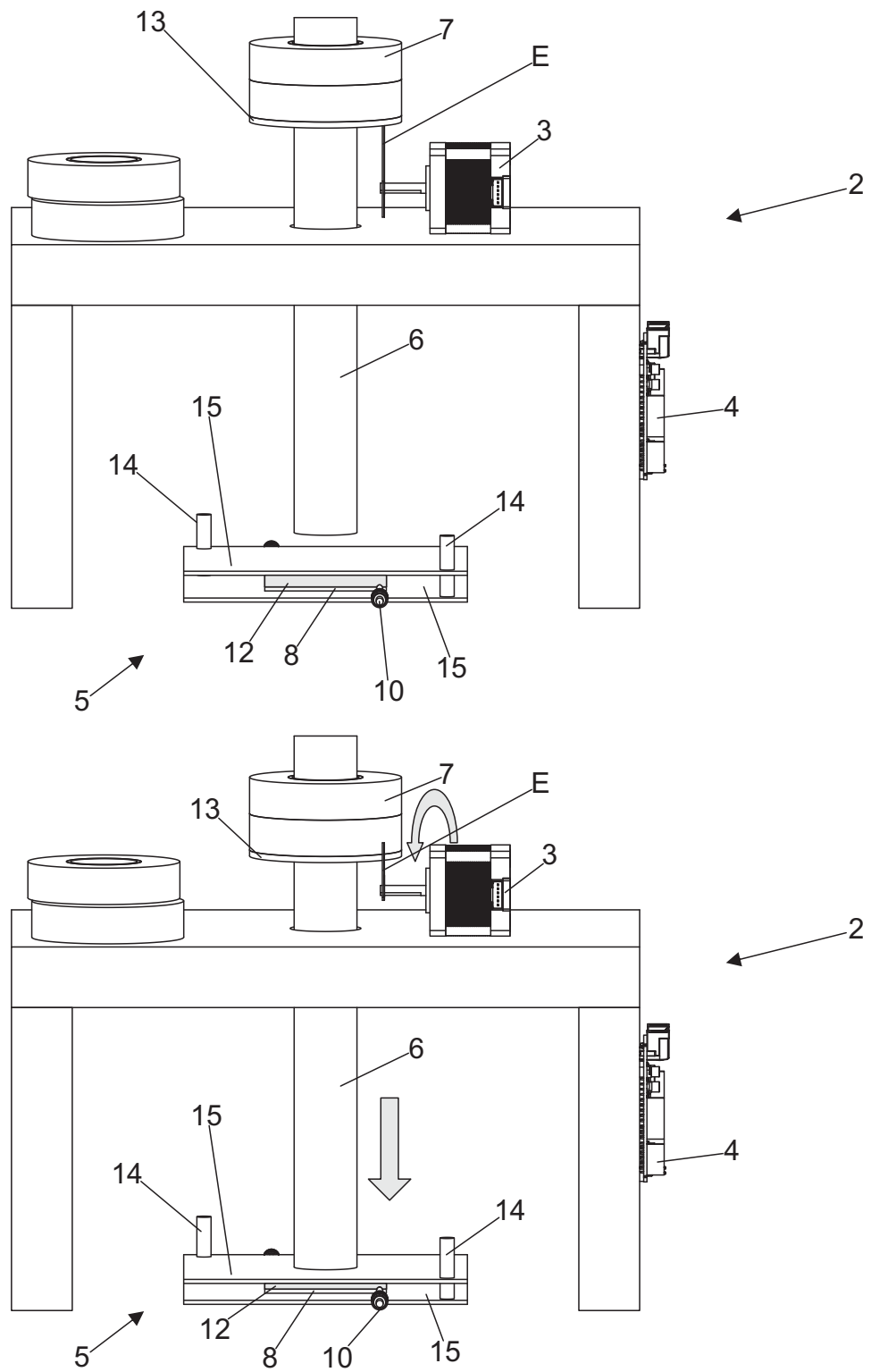


FIG. 5

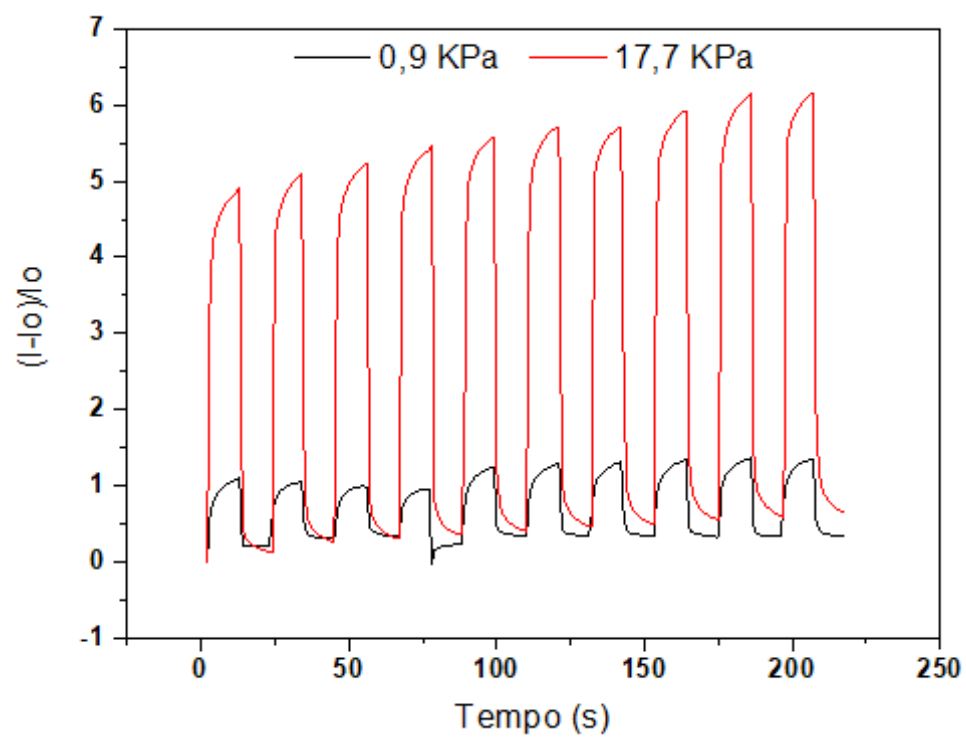


FIG. 6

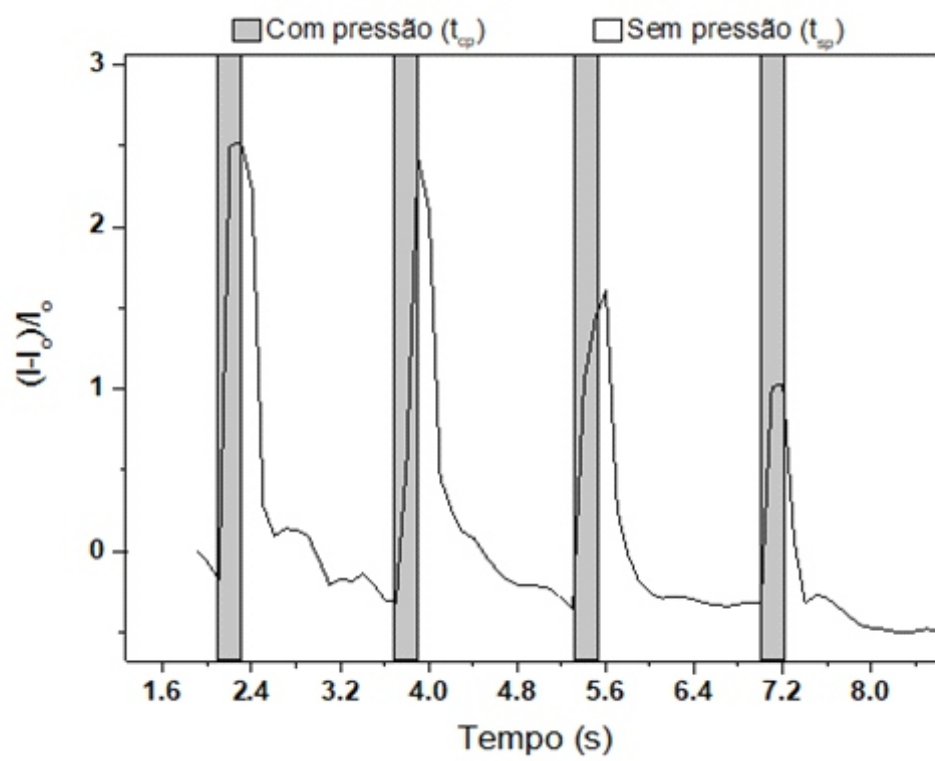


FIG. 7

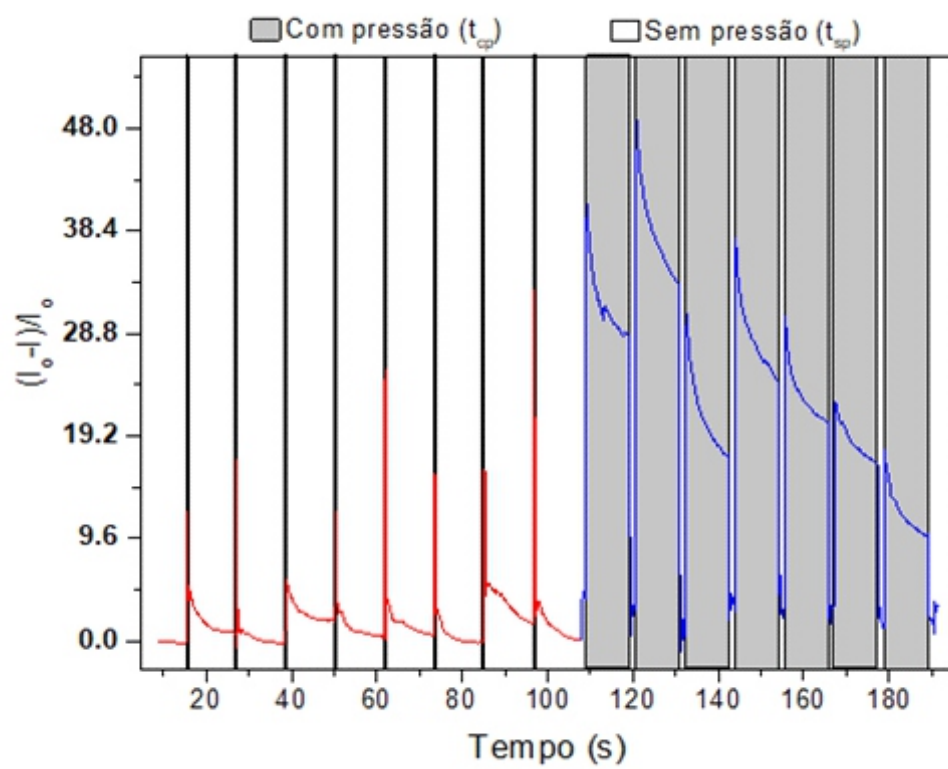


FIG. 8

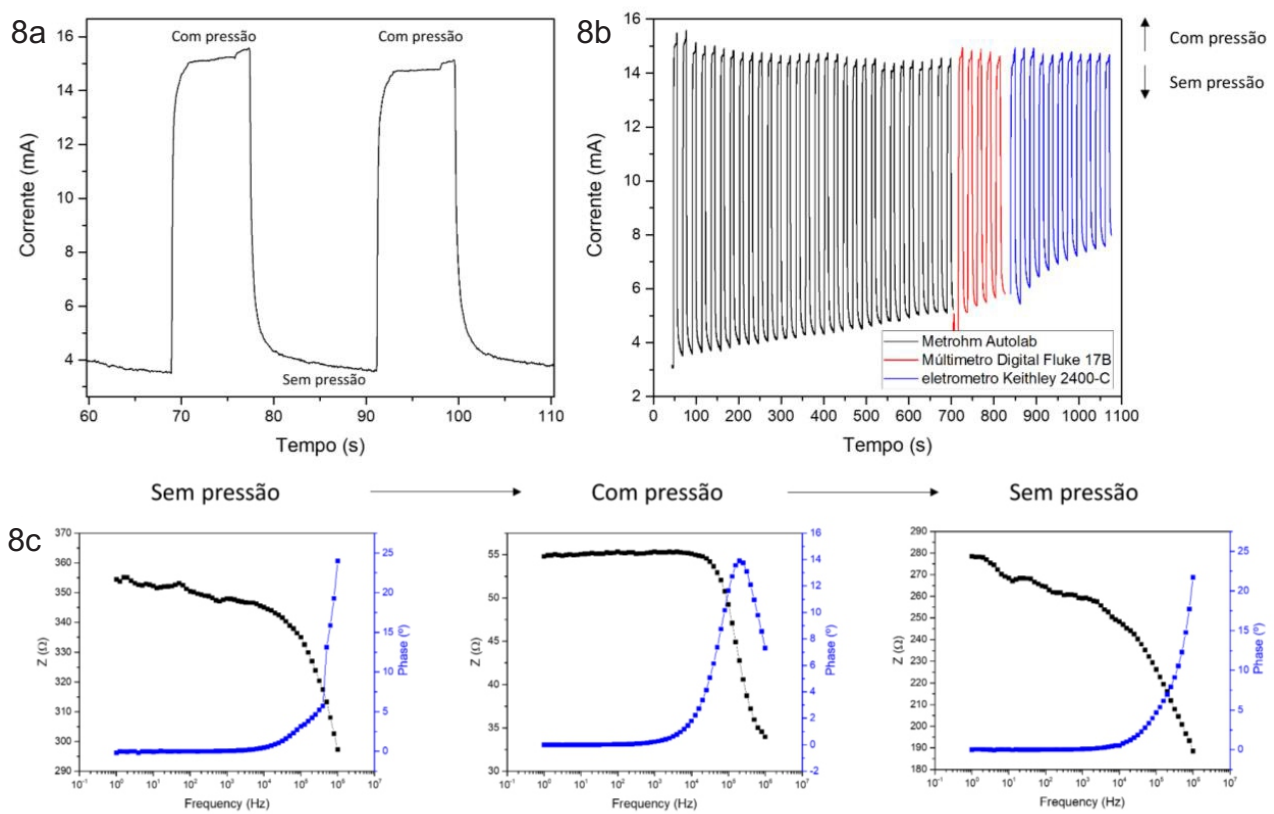
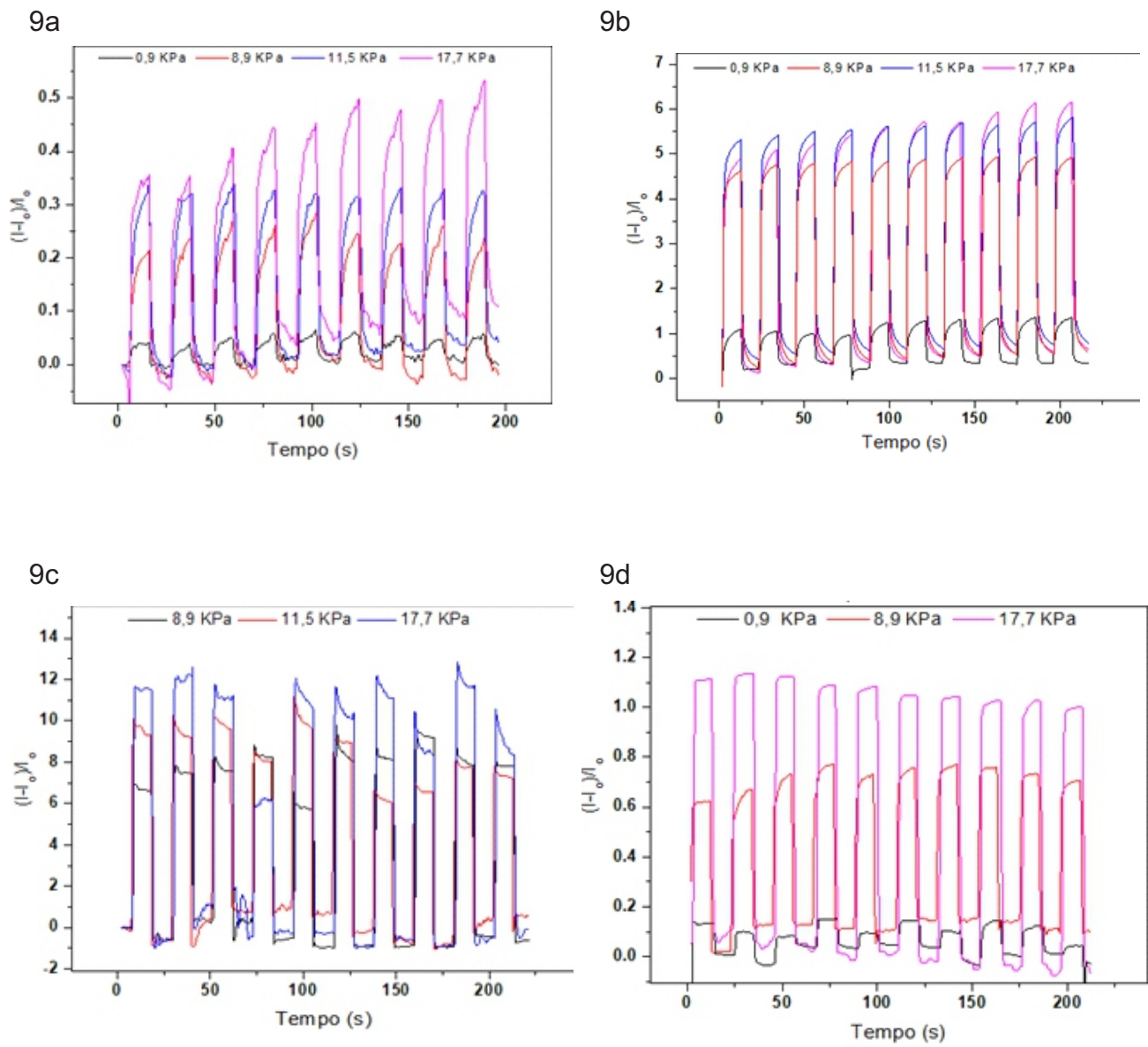


FIG. 9



RESUMO

“SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDIDA ELÉTRICA DE MATERIAIS SUBMETIDOS SIMULTANEAMENTE A VARIAÇÕES DE COMPRESSÕES”

Descreve a invenção de um sistema automatizado que compreende um equipamento de compressão (1) cíclica que utiliza uma placa de Arduino (4) para automatização do motor de passo (3) com uma engrenagem (E) acoplada responsável por fazer uma barra (6) cilíndrica, com diferentes massas (7) na forma de anéis, subir e descer sobre um sistema de medição de resposta elétrica (2) de determinada amostra (12) de material entremeada entre os eletrodos (8) localizados nas bases (15). A ligação entre o equipamento de compressão (1) cíclica e o sistema de medição de resposta elétrica (2) por meio de conectores (10) a equipamentos de medição elétrica possibilitam leituras com maior controle de pressão, tempo, repetitividade e maior relação sinal/ ruído.