

(12) PEDIDO INTERNACIONAL PUBLICADO SOB O TRATADO DE COOPERAÇÃO EM MATÉRIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organização Mundial da
Propriedade Intelectual
Secretaria Internacional

(43) Data de Publicação Internacional
01 de Julho de 2021 (01.07.2021)



(10) Número de Publicação Internacional
WO 2021/127754 A1

(51) Classificação Internacional de Patentes:

G09B 9/00 (2006.01) *G01M 3/24* (2006.01)
F17D 5/06 (2006.01) *G01N 29/07* (2006.01)

(21) Número do Pedido Internacional:

PCT/BR2020/050266

(22) Data do Depósito Internacional:

16 de Julho de 2020 (16.07.2020)

(25) Língua de Depósito Internacional:

Português

(26) Língua de Publicação:

Português

(30) Dados Relativos à Prioridade:

BR 10 2019 028026 3

27 de Dezembro de 2019 (27.12.2019) BR

(71) Requerentes: **COMPANHIA DE SANEAMENTO**

BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABBESP [BR/BR]; Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros, 05429-900 São Paulo (BR). **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA** [BR/BR]; Rua Quirino de Andrade, 215, 01049-010 São Paulo (BR).

(72) Inventores: **BRENNAN, Michael**; Avenida Brasil Sul, 56,

Centro, 15385-000 Ilha Solteira (BR). **LOBATO DE ALMEIDA, Fabrício**; Rua Domingos da Costa Lopes, 780, Jardim Itaipu, 17602-496 Tupã (BR). **IWANAGA, Maurício**; Avenida Brasil Sul, 56, Centro, 15385-000 Ilha Solteira (BR). **SCUSSEL, Oscar**; Avenida Brasil Sul, 56, Centro, 15385-000 Ilha Solteira (BR).

(74) Mandatário: **MIKI, Rosane**; Rua Costa Carvalho, 300,

05429900 São Paulo (BR).

(54) Title: METHOD AND SIMULATION BENCH FOR LEAKAGE SIGNALS IN LINES

(54) Título: MÉTODO E BANCADA DE SIMULAÇÃO DE SINAIS DE VAZAMENTO EM DUTO

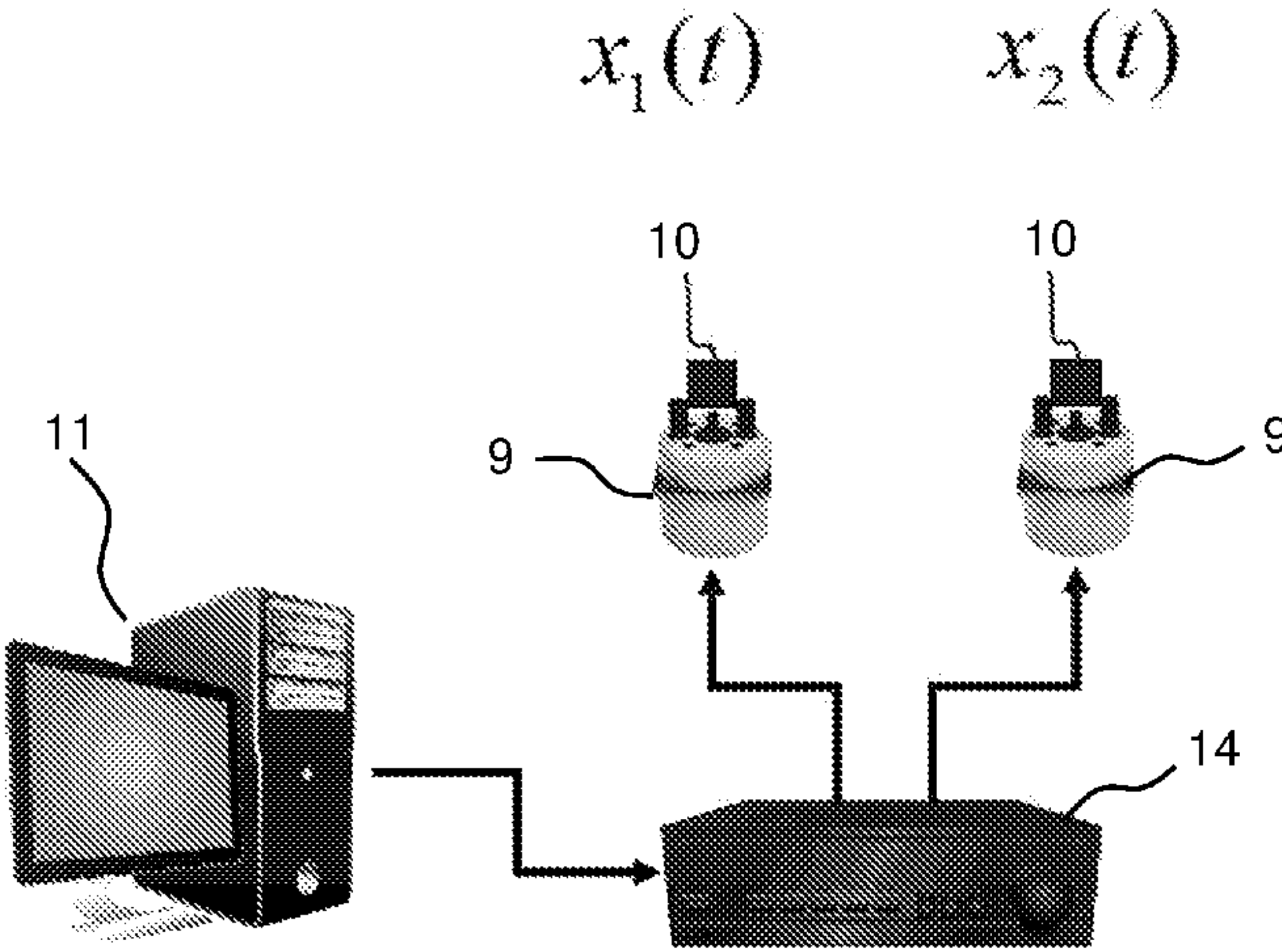


Figura 1

(57) **Abstract:** The present invention describes a method and simulation bench for leakage signals in lines, enabling the performance of equipment tests for detecting leaks. More specifically, the present invention discloses a simulator that uses an electromechanical transducer to reproduce the leakage signal, in which said leakage signal is emitted by a processor. The present invention also discloses a means for attenuating the dynamics of the present system to ensure that the leakage signal reproduced by the electromechanical transducer is as similar as possible to the signal generated in the field by a real leak. The present invention pertains to the fields of electrical engineering, leak detection, basic sanitation, water distribution and pipe maintenance.

(57) **Resumo:** A presente invenção descreve um método e bancada de simulação de sinais de vazamento em duto, possibilitando a realização de testes de aparelhos para detecção de vazamentos. Mais especificamente, a presente invenção apresenta um simulador que realiza a reprodução, por meio de transdutor eletromecânico, do sinal de vazamento, onde esse dito sinal de vazamento é emitido por meio de um processador. A presente invenção apresenta, também, um meio de atenuação de dinâmica do presente sistema, visando com que o sinal de vazamento reproduzido pelo transdutor eletromecânico seja o mais fiel possível ao gerado em campo, em um vazamento real. A presente invenção situa-se nos campos da engenharia elétrica, detecção de vazamentos, saneamento básico, distribuição de água

(Continua na página seguinte)



(81) Estados Designados *(sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção nacional existentes)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados Designados *(sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção regional existentes)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasiático (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), Europeu (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicado:

- *com relatório de pesquisa internacional (Art. 21(3))*
- *em preto e branco; o pedido internacional tal como depositado contém cores ou níveis de cinza e pode ser baixado do PATENTSCOPE*

Relatório Descritivo de Patente de Invenção

MÉTODO E BANCADA DE SIMULAÇÃO DE SINAIS DE VAZAMENTO EM DUTO

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção apresenta um método e bancada de simulação de sinais de vazamento em duto, que possibilita a realização de testes de aparelhos para detecção de vazamentos. A presente invenção situa-se nos campos da engenharia elétrica, detecção de vazamentos, saneamento básico, distribuição de água e manutenção de tubulações.

Antecedentes da Invenção

[0002] O aumento do número de habitantes em grandes centros e a diminuição de reservatórios naturais de água potável faz com que companhias de distribuição de água sofram certa pressão para evitar desperdício em seu transporte. Em 2014, 36,7% de água foi desperdiçada do tratamento até o consumidor final no Brasil. Em 2016, 19,8% da água foi desperdiçada por conta de vazamentos em redes e ramificações de dutos de água em São Paulo. Para contornar este problema, técnicas de detecção e localização de vazamentos são vastamente utilizadas em políticas de redução de perdas reais de água. Uma das técnicas mais difundida mundialmente é a correlação cruzada de sinais, que consiste na disposição de ao menos dois sensores espaçados a uma distância conhecida entre si, onde é determinado o atraso de tempo entre os sinais de vazamento captados pelos dois sensores, em que é aplicada a função de correlação cruzada entre os sinais, sendo possível identificar a presença do vazamento.

[0003] A referida técnica de correlação cruzada vem sendo utilizada há anos para a detecção de vazamentos em tubos metálicos enterrados aplicados em sistemas de distribuição de água. Entretanto, tal técnica é afetada quando utilizada em tubos de plástico devido à alta atenuação do sinal vibro-acústico do vazamento. Os principais motivos para tais falhas são as estimativas

erradas do atraso entre os sinais medidos, da velocidade que o sinal vibro-acústico (ruído) do vazamento se propaga, inexperiência do operador ou mau funcionamento de correlacionadores de ruído de vazamento.

[0004] Entretanto, a questão mais problemática é sobre o mau funcionamento de correlacionadores de ruído de vazamento. Em muitas das vezes, o conjunto de correlacionadores mais os sensores utilizados é demasiadamente caro e, além disso, os fabricantes estão dispostos em uma pequena porção de países, o que, de certa forma, incentiva a importação destes aparelhos. Atualmente, para realizar o teste adequado destes correlacionadores de ruído, é necessário deslocar esses ditos correlacionadores a um campo de testes específico, resultando em um longo período de tempo desde a importação até o seu uso de fato. Ademais, há o fator de que as condições climáticas do ambiente e solo dos países são diferentes, o que implica no fato de o correlacionador de ruído não operar com a mesma confiabilidade em todos os ambientes, gerando um enorme gasto na compra de novos correlacionadores de ruído para selecionar o mais apto à detecção desejada.

[0005] Por mais que possa haver alguns simuladores atualmente para a realização de testes dos correlacionadores, existem diversos inconvenientes na utilização dos mesmos, sendo uma das causas a estimativa errada da velocidade que o sinal vibro-acústico do vazamento se propaga, onde este problema se confere pela dinâmica do sistema utilizado, onde as propriedades intrínsecas do sistema interferem na aferição da velocidade de propagação. O maior problema resultante desta interferência é que a localização do vazamento não é determinada precisamente, ocasionando, por exemplo, na escolha de um correlacionador errado e implicando em escavação de um local onde não há vazamento e conseqüentemente desperdício de tempo e energia do operador.

[0006] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o

tema:

[0007] O documento WO2014050921 revela um dispositivo e método para geração de som de vazamento, onde o dispositivo tem uma unidade de armazenamento que grava dados de som de vazamento para simulação que imita o som de vazamento, uma unidade de oscilação que entrega uma vibração à tubulação, uma unidade de controle de vibração que vibra a unidade de oscilação baseada no dado de som de vazamento para simulação, uma unidade de aderência para acoplar a unidade de oscilação na tubulação, uma unidade de coleta de som que é instalada na tubulação e uma unidade de correção que corrige o som de vazamento gerado para simulação baseado no som coletado pela unidade coletora de som. Contudo, a solução proposta pelo WO2014050921 consiste de um atuador que simula o sinal de vazamento diretamente em um tubo, ou seja, havendo a necessidade de possuir um tubo (estrutura física) para realizar-se a simulação. Este tipo de configuração inviabiliza a utilização do dispositivo em escala laboratorial e, principalmente, dificulta a portabilidade do dispositivo, necessitando um local preparado para a sua operação.

[0008] O documento US6453247 revela um sistema de detecção por meio de programa de computador de vazamento em tubos de transmissão e distribuição de água, onde por meio de processamento do som ou vibração induzida em tubos ocasionados pelo escape de água sobre pressão, onde os sinais acústicos de vazamento são medidos em dois ou mais pontos de contato com o tubo, os sinais são gravados digitalmente usando a placa de áudio do computador. São revelados, também, computadores equipados com softwares e multimídias para gravar, processar e reproduzir sinais de vazamento recolhidos em análise de campo e também utiliza uma faixa de frequência dos sinais de vazamento gravados para suprir ruídos de interferência ao aplicar filtros digitais de passa-baixa e passa-alta em frequências especificadas pelo usuário. Porém o documento US6453247 não considera a dinâmica do sistema na reprodução dos sinais de vazamento, o que acarreta na imprecisão da

reprodução realizada e não conformidade com o sinal adquirido originalmente.

[0009] O documento US2018252611 revela um método e aparelho para analisar gravações em detecção de vazamento, em que o aparelho inclui um sensor de detecção de vazamento para gravar uma pluralidade de gravações e inclui também uma memória e um transceptor para transmitir o dado para outro dispositivo. Porém, o documento US2018252611 não é capaz de simular os sinais de vazamento considerando qualquer ambiente, o que, deste modo, impacta na precisão do sinal de vazamento, pois ao utilizá-lo em ambientes diversos, pode ocorrer a divergência entre o sinal reproduzido e o sinal adquirido originalmente por conta das diferentes propriedades do solo.

[0010] O documento RU2678712 revela uma bancada de testes para estudar o fluxo de fluído em uma linha de dutos, em que essa dita bancada permite simular diversas operações tecnológicas e fenômenos que ocorrem durante a operação na linha de duto principal, como por exemplo, simulação de vazamento de líquidos em linhas de dutos e possibilidade de explorar métodos para detectá-los. É revelado, também, que para as simulações de vazamento, são utilizados uma bomba com possibilidade de regulação da capacidade, um tanque de recebimento e consumo para um modelo de fluido, uma tubulação com seções de simulação de vazamento conectadas em série com um medidor de fluxo de massa, sensor de pressão, válvula de controle, regulador de fluxo e uma válvula de três vias. Porém o referido documento não apresenta uma solução capaz de simular sinais de vazamento e nem considera a dinâmica do sistema.

[0011] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0012] Dessa forma, embora exista simuladores, é possível observar que o estado da técnica carece de uma solução que possibilite uma simulação de sinais de vazamento em ambientes diversos, com reprodução de sinais de

vazamento mais fiéis possíveis, evitando a necessidade de execução de testes em campos fixos específicos, que possibilite o treinamento de operários para correta utilização de correlacionadores de ruídos e que considere a dinâmica do sistema na simulação desses ditos sinais de vazamento, evitando medições errôneas que podem impactar na detecção e localização de vazamento, onde a imprecisão de localização de vazamento pode ocasionar, por exemplo, no desperdício de tempo e energia de um operador ao escavar um local sem vazamento.

Sumário da Invenção

[0013] Dessa forma, a presente invenção resolve os problemas do estado da técnica a partir de uma bancada de simulação de sinais de vazamento em dutos que envia sinal de vazamento por meio de ao menos um processador, em que o dito processador direciona o sinal de vazamento para ao menos um transdutor eletromecânico a partir de um meio de direcionamento de sinais, o transdutor eletromecânico reproduz o sinal de vazamento por vibrações e um sensor de vibração mede a vibração emitida e manda para o processador a medição aferida. É utilizada então ao menos uma ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema, adequando, assim, o sinal de vazamento e deixando-o o mais fiel possível ao sinal enviado pelo processador, que pode ser uma medição feita em campo ou um sinal criado artificialmente no próprio processador.

[0014] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta uma bancada de simulação de sinais de vazamento em duto que compreende: ao menos um transdutor eletromecânico; ao menos um sensor de vibração; ao menos um processador; em que, o sensor de vibração é associado ao transdutor eletromecânico; o processador direciona o sinal de vazamento simulado para o transdutor eletromecânico, a partir de um meio de direcionamento de sinais; o processador recebe sinal de medição gerado originalmente pelo sensor de vibração; e o processador compreende ao menos

uma ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema.

[0015] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um método de simulação de sinais de vazamento em duto que compreende as etapas de: caracterização de simulador e calibração automática por um processador; envio, pelo processador, de sinal de vazamento, previamente armazenado, para ao menos um transdutor eletromecânico; medição, por um sensor de vibração, de sinais reproduzidos pelo transdutor eletromecânico e envio dos sinais de medição, aferidos pelo dito sensor de vibração, para o processador; exibição do sinal de medição pelo processador; em que, o envio, pelo processador, de sinal de vazamento compreende uma etapa de filtragem de dinâmica, pelo processador, a partir da caracterização do simulador.

[0016] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e serão descritos detalhadamente a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0017] São apresentadas as seguintes figuras:

[0018] A figura 1 mostra uma concretização da disposição do simulador de sinais de ruídos de vazamento proposto pela presente invenção, onde são ilustrados o processador (11), o amplificador (14), transdutores eletromecânicos (9) e sensores de vibração (10).

[0019] A figura 2 mostra a concretização de uma das possíveis disposições do simulador de sinais de ruídos de vazamento, em que são ilustrados o processador (11), um meio de direcionamento (12), um amplificador de sinais (14), um par de transdutores eletromecânicos (9), um par de sensores de vibração (10) e um par de condicionadores de sinais (13).

[0020] A figura 3 mostra a concretização de uma das possíveis disposições do simulador de sinais de ruídos de vazamento, onde são ilustrados transdutores eletromecânicos (9) que em uma concretização são atuadores eletromecânicos, um amplificador de sinais (14), um processador (11) que em uma concretização é um computador para geração de sinais e um

sistema de aquisição de dados (15).

[0021] A figura 4 mostra uma concretização do fluxograma para simulação de sinais de ruídos de vazamento em dois sistemas sem compensadores.

[0022] A figura 5 mostra uma concretização do sistema de aquisição de sinais de vazamento, onde é ilustrada a disposição dos sensores ao longo de um tubo e uma válvula simulando vazamento.

[0023] A figura 6 mostra uma exemplificação de um gráfico de comparação do sinal medido em campo e do sinal gerado sem compensador, onde o gráfico apresenta coeficiente de correlação cruzada (0,3 a -0,3) por atraso (-0,04 a 0,02 segundos).

[0024] A figura 7 mostra uma exemplificação de um gráfico de comparação do sinal medido em campo e do sinal gerado com compensador, onde o gráfico apresenta coeficiente de correlação cruzada (0,3 a -0,3) por atraso (-0,04 a 0,02 segundos).

[0025] A figura 8 mostra uma exemplificação de um gráfico de comparação do sinal sintetizado no processador (11) com compensador, onde o gráfico apresenta coeficiente de correlação cruzada (-1 a 1) por atraso (-20 a 120 ms).

[0026] A figura 9 mostra uma exemplificação de um gráfico de comparação do sinal sintetizado no processador (11) sem compensador, onde o gráfico apresenta coeficiente de correlação cruzada (-1 a 1) por atraso (-20 a 120 ms).

[0027] A figura 10 mostra uma concretização do fluxograma de funcionamento de simulação de sinais de ruídos de vazamento em dois sistemas com compensadores.

[0028] A figura 11 mostra uma concretização de um diagrama do teste relativo à detecção de mau funcionamento em um correlacionador de sinais comercial (*leak noise correlator*) e/ou treinamento de um operador.

Descrição Detalhada da Invenção

[0029] As descrições que se seguem são apresentadas a título de exemplo e não limitativas ao escopo da invenção e farão compreender de forma mais clara o objeto do presente pedido de patente.

[0030] Um dos tipos de detecção de vazamentos em dutos utilizado é a detecção acústica por correlacionadores de ruídos. Esses correlacionadores possuem sensores que realizam medições de ruídos simultaneamente em diversos pontos de uma rede. Convencionalmente, esta técnica utiliza a correlação cruzada para calcular o atraso entre dois sensores conectados ao tubo, onde este atraso juntamente com a velocidade de propagação com a qual o fluido se propaga no tubo, é utilizado para estimar a localização do vazamento em relação a um dos sensores (distância do vazamento a um sensor). O atraso é estimado utilizando o pico da correlação cruzada. Alguns dos problemas associados a estes correlacionadores são referentes à qualidade da medição, inexperiência do operador e a veracidade da medição realizada, onde os sensores dos correlacionadores de ruído podem possuir defeitos e adquirir dados não condizentes com a presente realidade.

[0031] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta uma bancada de simulação de sinais de vazamento em duto que compreende: ao menos um transdutor eletromecânico (9); ao menos um sensor de vibração (10); ao menos um processador (11); em que, o sensor de vibração (10) é associado ao transdutor eletromecânico (9); o processador (11) direciona o sinal de vazamento simulado para o transdutor eletromecânico (9), a partir de um meio de direcionamento de sinais (12); o processador (11) recebe sinal de medição gerado originalmente pelo sensor de vibração (10); e o processador (11) compreende ao menos uma ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema.

[0032] O sinal de vazamento é adquirido previamente e armazenado em um local acessível pelo processador (11), onde, em uma exemplificação, este sinal de vazamento pode ser adquirido em experimentos de campo realizados

em dutos sobre condições específicas e com a ocorrência de um vazamento ou, até mesmo, sintetizado pelo próprio processador (11). Em uma concretização, o referido sinal de vazamento é um sinal real obtido em campo. Em uma concretização, sinal de vazamento é o sinal acústico gerado por uma tubulação com vazamento. Em outra concretização, sinal de vazamento é o sinal acústico gerado por um duto plástico com vazamento. Em outra concretização, é adquirida uma pluralidade de sinais de vazamento de tubulações em diversos solos. Em uma concretização, o sinal de vazamento é gerado pelo próprio processador (11), a partir de uma sintetização. Geralmente, em testes de campo, as propriedades do solo e ambiente em que a tubulação com vazamento está envolvida influenciam na propagação do sinal de vazamento. Em uma concretização, o sinal é armazenado no disco rígido de um computador. Em outra concretização, o sinal é armazenado em um banco de dados. Em outra concretização, o sinal é armazenado em armazenamento nuvem.

[0033] O processador (11), então, envia o sinal de vazamento para um meio de direcionamento de sinais (12), de tal modo que o sinal é então enviado para o transdutor eletromecânico (9), onde o dito transdutor eletromecânico (9) reproduz o sinal de vazamento. Em uma concretização, transdutor eletromecânico (9) é um atuador eletromecânico. Em outra concretização, transdutor eletromecânico (9) é uma caixa alto-falante.

[0034] Em uma concretização, é tomado o processador (11) como gerador de sinais e sistema de aquisição, através da inclusão do meio de direcionamento de sinais (12).

[0035] A partir da reprodução do sinal de vazamento, o sensor de vibração (10) mede o sinal de vazamento reproduzido, de tal modo que o processador (11) recebe os sinais de medição gerados originalmente pelo dito sensor de vibração (10). O sinal de medição gerado originalmente pelo dito sensor de vibração (10) pode ser pré-processado antes de ser recebido pelo processador (11), por exemplo, ser convertido para uma outra grandeza física,

ser filtrado, ser condicionado, etc. Em uma concretização, o sensor de vibração (10) envia o sinal para o meio de direcionamento de sinais (12) e o dito meio de direcionamento (12) envia para o processador (11). Em uma concretização, sensor de vibração (10) é um acelerômetro. Em outra concretização, sensor de vibração (10) é um microfone. Em outra concretização, sensor de vibração (10) é um geofone. Em outra concretização, sensor de vibração (10) é um sensor a laser. De tal forma que, sensor de vibração (10) compreende qualquer sensor capaz de medir uma grandeza física que esteja associada à vibração gerada pelos transdutores eletromecânicos (9).

[0036] Para fins da presente invenção, a dinâmica do sistema refere-se às propriedades intrínsecas do sistema, onde estas propriedades causam interferências nos sinais que são gerados/trafegados/medidos pelo sistema, de tal modo que influencia na veracidade das medições obtidas. Ainda, a dinâmica pode depender da construção do sistema, onde a variação de uma propriedade, afeta o sistema como um todo, influenciando no sinal medido e/ou reproduzido. Para fins de exemplificação no âmbito da presente invenção, o sistema, a qual se visa atenuar a dinâmica, refere-se a qualquer elemento ou componente que possa ser disposto na bancada de simulação de sinais de vazamento com exceção do processador (11) e do meio de direcionamento (12) proposto pela presente invenção como, por exemplo, o transdutor eletromecânico (9), o sensor de vibração (10), etc., também, não limitados a estes.

[0037] Considerando esta limitação verificada no estado da técnica relativa à dinâmica do sistema, a presente invenção propõe realizar uma atenuação da dita dinâmica por meio de uma ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema implementada no processador (11), visando deixar o sinal reproduzido mais fiel ao sinal captado em campo, ou seja, o sinal real medido. Em uma concretização, é utilizado um computador provido de um processador (11) para a implementação descrita. Em outra concretização, ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema é um software de computador desenvolvido

previamente a partir de uma ferramenta matemática. Em outra concretização, a filtragem de dinâmica do sistema é realizada por meio de um algoritmo. Em uma concretização, a ferramenta de filtragem da dinâmica do sistema é uma ferramenta matemática previamente configurada para operar como um filtro capaz de atenuar as componentes indesejadas.

[0038] A ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema compreende calibração automática a partir da caracterização do sistema. A caracterização do sistema, para fins da presente invenção, refere-se a uma verificação da identidade e comportamento do sistema, podendo-se utilizar de ferramentas matemáticas conhecidas para se aferir este comportamento. Em uma concretização, a caracterização do sistema é realizada por meio de resposta ao impulso (IR). Em outra concretização, a caracterização do sistema é realizada por meio de resposta em frequência (FRF). Assim, com base nisso, o processador (11) é capaz de verificar o comportamento do sistema e executar uma filtragem adequada, a partir da ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema, para obter uma maior fidelidade do sinal reproduzido.

[0039] Em uma concretização, a calibração automática é realizada considerando a estimativa da resposta ao impulso do sistema e então utilizando filtros digitais é enviado um sinal por meio de direcionamento (12) de sinal para calibrar o sistema. Em outra concretização, o compensador aqui desenvolvido é um filtro invertido para atenuar a dinâmica do sistema. Em uma concretização, compensadores são softwares utilizados pelo processador (11) para filtrar a dinâmica dos transdutores eletromecânicos (9).

[0040] Dessa forma, a ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema compreende compensadores responsáveis por atenuar a dinâmica do sistema ao filtrar o sinal de vazamento. Para fins da presente invenção, os compensadores não são utilizados para compensar nenhum efeito do processador (11) ou do meio de direcionamento de sinais (12) pois estes ditos componentes não apresentam influência relevante na performance do sistema da presente invenção.

[0041] Em uma concretização, o sistema de simulação compreende adicionalmente ao menos um condicionador de sinais (13) associado ao sensor de vibração (10) e ao meio de direcionamento de sinais (12). O referido condicionador de sinais (13) é utilizado para os acelerômetros que são do tipo ICP (*Integrated Circuit Piezoelectric*). Esses sensores “geram” um sinal de voltagem proporcional à aceleração e precisam de condicionamento para que os sinais sejam amplificados e medidos. Entretanto, qualquer sensor com as características necessárias para a leitura do sinal pode ser usado. Usa-se o tipo ICP devido ao seu tamanho, sensibilidade e banda linear de frequência (trabalho) compatível para o simulador. Em uma concretização, o sistema de simulação compreende dois condicionadores de sinais (13) associados a dois sensores de vibração (2) e a um meio de direcionamento de sinais (12).

[0042] Para fins da presente invenção, o meio de direcionamento de sinais (12) é qualquer elemento capaz de direcionar o sinal inserido em sua entrada para os elementos acoplados a sua saída. Para exemplificar, o meio de direcionamento de sinais (12) pode ser um arranjo de fios, um divisor de sinais, um hub, um distribuidor de sinais, um repetidor, um circuito de RF, uma placa de áudio, etc. Em uma concretização, o meio de direcionamento de sinais (12) é uma placa de áudio. Em uma concretização, a placa de áudio possui duas entradas e duas saídas. Em outra concretização, a placa de áudio possui quatro entradas e quatro saídas.

[0043] O sistema compreende, também, um amplificador de sinais (14) que é associado ao transdutor eletromecânico (9) e ao meio de direcionamento de sinais (12). O sinal de vazamento gerado pelo processador (11) é amplificado pelo amplificador de sinais (14), para que este possa ser melhor reproduzido pelos transdutores eletromecânicos (9). Em uma concretização, o meio de direcionamento de sinais (12) transmite o sinal de vazamento para um amplificador de sinais (14), e o dito amplificador de sinais (14) amplifica o sinal de vazamento. Em uma concretização, um amplificador de sinais (14) é associado a dois transdutores eletromecânicos (9) e os ditos transdutores

eletromecânicos (9) são associados independentemente no meio de direcionamento de sinais (12).

[0044] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um método de simulação de sinais de vazamento em duto que compreende as etapas de: caracterização de simulador e calibração automática por um processador (11); envio, pelo processador (11), de sinal de vazamento, previamente armazenado, para ao menos um transdutor eletromecânico (9); medição, por um sensor de vibração (10), de sinais reproduzidos pelo transdutor eletromecânico (9) e envio dos sinais de medição, gerados originalmente pelo dito sensor de vibração (10), para o processador (11); exibição do sinal de medição pelo processador (11); em que, o envio, pelo processador (11), de sinal de vazamento compreende uma etapa de filtragem de dinâmica, pelo processador (11), a partir da caracterização do simulador.

[0045] Em uma concretização, para simular ruído de vazamento, são utilizados na bancada os dados de vazamento adquiridos em campo ou sinais sintetizados de ruído de vazamento, através do software armazenado no processador (11). Para fins da presente invenção, sinais sintetizados de ruído de vazamento são sinais que são criados diretamente no processador (11), sem a necessidade de medições em campo, onde a partir de um software, um usuário é capaz de criar virtualmente os sinais de vazamentos, informando apenas algumas características como propriedades do tubo e do solo, distâncias do vazamento em relação aos sensores, etc.

[0046] Em uma concretização, o processador (11) compreende acesso a um local de armazenamento com uma pluralidade de dados reais de vazamento. Em outra concretização, os dados reais de vazamento são adquiridos em diversas situações práticas como, por exemplo, propriedades de solo diferentes, propriedades do tubo ou geometria do tubo. Ademais, para a simulação, um usuário é apto a selecionar estas diferentes propriedades para simular o sinal de vazamento, podendo escolher de acordo com a necessidade. A etapa de caracterização compreende determinação do comportamento do

sistema a partir da injeção de um sinal conhecido, podendo-se obter uma estimativa matemática do comportamento do sistema. Em uma concretização, o processador (11) utiliza de técnicas de resposta ao impulso. Em uma outra concretização, o processador (11) utiliza da técnica de resposta em frequência. A caracterização do comportamento possibilita aferir a dinâmica do sistema em que se executa a simulação, onde esta dinâmica pode alterar com base nas propriedades intrínsecas e construtivas do sistema. Com base nisso, o processador (11) executa uma ação de calibração automática, que compreende a filtragem digital dos efeitos da dinâmica do sistema, identificados na etapa de caracterização. Em uma concretização, o processador (11) realiza a filtragem digital da dinâmica do sistema após o recebimento do sinal de medição gerado originalmente pelo sensor de vibração (10).

[0047] O processador (11) compreende uma etapa de filtragem dinâmica, onde o sinal de vazamento, antes de ser enviado para reprodução, é filtrado por filtro digital por meio de compensador.

[0048] Dada a calibração e a filtragem dinâmica, o processador (11) envia o sinal de vazamento para ser reproduzido pelo transdutor eletromecânico (9). Em uma concretização, são dispostos dois transdutores eletromecânicos (9) para simular uma condição real de detecção de vazamentos, de tal modo que o processador envia os dados para ambos os transdutores eletromecânicos (9) a partir de um meio de direcionamento de sinal (12). Os sinais reproduzidos pelos transdutores (9) contam com os atrasos de tempo em que o sinal de vazamento demora para alcançar os sensores, no caso de uma medição real.

[0049] Com isso, o sinal reproduzido pelos transdutores eletromecânicos (9) é medido pelo sensor de vibração (10), onde o sensor de vibração (10) recebe o sinal acústico, realiza medição e transforma-o em sinal elétrico para assim ser recebido pelo processador (11). Ainda, o sinal medido pelo sensor de vibração (10) pode ser pré-processador antes de ser recebido pelo processador (11). Em uma concretização, o sinal provindo do sensor de vibração (10) passa

por uma ferramenta para compatibilizar o sinal medido com a capacidade de leitura do processador (11).

[0050] Na medição, o sinal que chega ao processador (11) é tratado de modo a atenuar a dinâmica do sistema, onde o processador (11) realiza uma etapa de atenuação dos efeitos da dinâmica a partir de uma ferramenta de filtragem, baseada na caracterização do sistema realizada previamente. Para isso, em uma concretização, é utilizado um filtro digital a fim de atribuir um atraso para compensar um possível adiantamento dos sinais armazenados no processador (11), e/ou compensar efeitos da dinâmica do sistema.

[0051] Em uma concretização, é realizada adicionalmente uma etapa de aferição da veracidade dos sinais medidos pelo sensor de vibração (10), através da comparação com os sinais reproduzidos pelo transdutor eletromecânico (9). Para isso, o processador (11) compara o sinal recebido pela medição do sensor de vibração (10) com o sinal de vazamento emitido pelo processador (11), que pode ser tanto um sinal de ruído de vazamento medido em campo ou um sinal sintetizado de ruído de vazamento. Assim, caso os sinais gerados pelo processador (11) e medidos pelo correlacionador de ruídos não forem semelhantes, é aferido que o correlacionador de ruídos não está apto para tal aplicação. Adicionalmente, nesta etapa, caso os sinais gerados pelo processador (11) não forem semelhantes aos sinais medidos pelo correlacionador (assumindo que o correlacionador já tenha sido testado anteriormente e encontra-se apto para a aplicação), é aferido que o operador ainda não está treinado o suficiente para utilizar o equipamento.

[0052] Em uma concretização, o sistema de simulação de sinais de vazamento em duto opera de tal modo que o processador (11) direciona o sinal de vazamento para ao menos um amplificador de sinais (14), em que o dito amplificador de sinais (14) amplifica o sinal enviado e o envia para ao menos um transdutor eletromecânico (9), em que esse transdutor eletromecânico (9) reproduz o sinal de vazamento por vibrações e um sensor de vibração (10) mede a vibração emitida e manda para o processador (11) a medição aferida.

A presente invenção resolve os problemas, também, com a utilização de ao menos uma ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema, adequando, assim, o sinal de vazamento ao realizar calibração automática e permite que o sinal de vazamento simulado seja fiel ao sinal medido em campo.

[0053] Nesse sentido, o conceito da invenção ora descrito no presente pedido de patente pode ser utilizado em diferentes aplicações práticas no cenário técnico atual, sendo aplicável para teste de correlacionadores de ruídos ou para se testar as habilidades/capacidades de um operador. Teste do correlacionador: Partindo da premissa de um o operador já treinado para utilizar o simulador e o correlacionador, ao verificar-se que os sinais gerados pelo processador (11) não são semelhantes/iguais aos sinais medidos pelo correlacionador, conclui-se que o correlacionador não está apto para a aplicação; Teste do operador: Partindo da premissa de que o correlacionador já foi testado e certificado anteriormente e está apto para aplicação, ao verificar-se que os sinais gerados pelo processador (11) não são semelhantes/iguais aos sinais medidos pelo correlacionador, conclui-se que o operador não possui treinamento suficiente para a utilização do equipamento.

Exemplo – Teste laboratorial de correlacionadores de ruído utilizando um simulador de sinais de vazamento

[0054] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[0055] A presente invenção pode ser implementada de diversas maneiras, de tal modo que o setup de montagem do sistema pode ser realizado a partir de qualquer tecnologia que seja compatível com o conceito ora apresentado. Com isso, conforme pode ser visto na figura 1, o sistema é formado por processador (11), amplificador (14), um par de transdutores eletromecânicos (9) e um par de sensores de vibração (10) associados a cada um dos atuadores, onde esta associação pode ser física, ou seja, eles estão

posicionados estruturalmente um sobre o outro, ou uma associação virtual, ou seja, basta apenas que o sensor (10) seja capaz de detectar os sinais reproduzidos pelo atuador (9).

[0056] O sistema possui dois atuadores (9), sendo cada um reproduzindo um sinal, conforme pode ser visto ainda na figura 1, sendo os sinais $x_1(t)$ e $x_2(t)$, onde cada sinal representa a propagação do ruído de vazamento até cada um dos sensores na medição real realizada em campo.

[0057] Para uma outra forma de se propor o sistema são utilizados um computador (11), uma placa de áudio (12), um amplificador de sinais (14), dois transdutores eletromecânicos (9), dois acelerômetros (10) e dois condicionadores de sinais (13) como ilustrados na figura 2 e na figura 3. Além disso, o processador utilizado do sistema ilustrado pela figura 3 é utilizado unicamente para enviar os sinais de vazamento (medidos em campo ou sintetizados) para os transdutores eletromecânicos (9), e o sistema de aquisição é responsável por gravar os dados medidos pelos acelerômetros (10), os quais são enviados posteriormente para o processador. Dessa forma, para simplificar e baratear o simulador, o sistema da figura 2 toma o processador como gerador de sinais e sistema de aquisição, através da inclusão do meio de direcionamento de sinais (12), onde através desta abordagem, o sistema de aquisição de dados (15) foi removido da configuração do simulador.

[0058] No computador (11) foram armazenados previamente sinais de vazamento, onde esses sinais de vazamentos foram adquiridos em testes reais em campo. Foi então enviado pelo computador o sinal de vazamento pela placa de áudio e da placa de áudio para o amplificador de sinais (14). Após amplificar o sinal, o amplificador de sinais (14) enviou aos atuadores eletromecânicos o sinal de vazamento como ilustrado na figura 4. O atuador eletromecânico começou a reproduzir a vibração do sinal de vazamento e os acelerômetros detectaram a aceleração resultante da vibração. Os acelerômetros, então, enviaram o sinal medido para as entradas da placa de

áudio e a placa de áudio retornou o sinal ao computador. Por conta da dinâmica do sistema influenciar na medição, o software de filtragem de dinâmica do sistema, que foi implementado no computador (11), foi utilizado. O software de filtragem de dinâmica do sistema realizou os seguintes passos:

[0059] Cálculo de funções de resposta ao impulso

[0060] Para a caracterização dos sistemas, foi utilizada a função de resposta ao impulso (IRF) e a casualidade do sistema foi evitada, onde essa dita casualidade estava relacionada com o atraso de sinais, onde o dito atraso de sinais é o parâmetro que os correlacionadores de ruído estimam em seu cálculo. As funções de resposta ao impulso (IRFs) $g^a(t, x)$ entre a aceleração da parede de tubulação (a uma distância x do vazamento) e a pressão de vazamento foram calculadas através da transformada inversa de Fourier de $G^a(\omega, x)$, como por exemplo $g^a(t, x) = F^{-1}\{G^a(\omega, x)\}$, onde $F^{-1}\{\}$ é o operador de transformação inversa de Fourier. Ao utilizar a transformada inversa de Fourier da função de resposta à frequência, as funções de resposta ao impulso $g^a(t, x)$ entre o vazamento e o sensor 1 (16) e entre o vazamento e o sensor 2 (17) foram calculadas considerando no sensor 1 (16) $x = d_1$ e no sensor 2 (17) $x = d_2$, onde d_1 é a distância do sensor 1 (16) ao vazamento e d_2 a distância do sensor 2 (17) ao vazamento como ilustrado na figura 5, onde o coeficiente de correlação cruzada sem o compensador pode ser visto na figura 6.

[0061] Filtros compensadores da dinâmica do sistema

[0062] Os compensadores foram utilizados para compensar a dinâmica do amplificador de sinais (14) e transdutor eletromecânico (9) quando eles foram conectados em série. Cada transdutor eletromecânico (9) em conjunto com o amplificador de sinais (14), teve um atraso de tempo associado por causa do tempo finito que leva para um sinal passar através do sistema. Logo, foi adicionado um tempo de atraso garantindo que o compensador tenha um atraso de tempo ao invés de um avanço de tempo e garantiu que o sistema compensado fosse causal. Para projetar o compensador, a resposta em frequência (FRF) invertida $\bar{H}_s^a(\omega)$ do sistema foi calculada como:

$$\bar{H}_s^a(\omega) = 1/H_s^a(\omega) \quad (1)$$

[0063] onde $H_s^a(\omega)$ é a FRF do sistema, ω é a frequência angular, s é a denotação dos sistemas virtuais de tubulação 1 e 2 e a é denotação de aceleração.

[0064] As respostas ao impulso (IRFs) $\bar{h}_s^a(t)$ dos compensadores (domínio do tempo), no qual $0 \leq t \leq T$, foram então calculados através da transformada inversa de Fourier de $\bar{H}_s^a(\omega)$. Em seguida, um atraso de tempo α foi adicionado resultando na IR modificada dada por:

$$\begin{cases} \bar{h}_s^a(t) = \bar{h}_s^a(t + \alpha), \text{ se } t \leq \alpha \\ \bar{h}_s^a(t) = \bar{h}_s^a(t - \alpha), \text{ se } t > \alpha \end{cases} \quad (2)$$

[0065] onde $\alpha = T/2$, t é o tempo e T é o intervalo de tempo.

[0066] Para reduzir o custo de computação dos compensadores, o intervalo de tempo foi diminuído e manteve somente os segmentos de $\bar{h}_s^a(t)$ que estavam dentro das zonas que continham a compensação dos efeitos da dinâmica dos sistemas. A IRF $\bar{h}_s^a(t)$ foi multiplicada por uma janela Hanning para garantir que o começo e o final da função fossem zero. Com esse compensador modificado, foi possível compensar adequadamente a dinâmica do sistema, sem a necessidade de utilizar filtros mais complexos. O sinal de vazamento foi então compensado, conforme fluxograma da figura 10, onde foi obtido o gráfico do coeficiente de correlação cruzada conforme figura 7. Após o cálculo dos compensadores, o processador (11) filtrou os sinais de vazamento com estes compensadores. Após serem filtrados, os sinais foram enviados para o resto do sistema, e os transdutores eletromecânicos (9) reproduzem os sinais de vazamento filtrados.

[0067] Foi utilizado, então, um correlacionador de ruídos para testar seu funcionamento e disposto no sistema como ilustrado na figura 11, sendo que a linha tracejada vermelha representa o correlacionador de ruídos comercial (CR) de vazamento e a linha contínua azul o sistema de simulação. O computador

enviou novamente um sinal de vazamento para a entrada da placa de áudio, a placa de áudio enviou para o amplificador de sinais (14) e após amplificação, os sinais foram enviados para os atuadores. Os atuadores reproduziram a vibração do sinal recebido e essa vibração foi captada pelo sensor do correlacionador de ruídos. Foi então realizada a comparação do sinal aferido e o sinal adquirido em campo (real).

[0068] Logo após, foi utilizado um sinal sintetizado pelo processador (11) para testar seu funcionamento. O computador enviou um sinal de vazamento sintetizado para a entrada da placa de áudio, a placa de áudio enviou para o amplificador de sinais (14) e após amplificação, os sinais foram enviados para os atuadores. Os atuadores reproduziram a vibração do sinal sintetizado e essa vibração foi captada pelo sensor do correlacionador de ruídos. Foram verificados, então, os coeficientes de correlação cruzada calculados com compensador (mostrada na figura 8) e sem compensador (mostrada na figura 9), onde a linha preta contínua representa os sinais medidos pelo atuador eletromecânico e a linha magenta pontilhada representa os sinais sintetizados no processador (11).

[0069] A comparação entre o sinal aferido e o sinal adquirido em campo é feita sobrepondo a correlação cruzada (mostrada na Fig. 7) do sinal simulado com o sinal medido (correlacionador - CR). Isso pode ser feito pelo usuário ou pelo próprio software da bancada virtual da presente invenção. Essa comparação também pode ser realizada no domínio da frequência, onde o módulo e a fase do espectro cruzado de frequência também podem ser comparados e sobrepostos. Entretanto, nesse caso, usa-se a correlação cruzada devido à facilidade de obter o atraso de sinal entre os sensores, o que é a principal função de um correlacionador de sinais. Esse atraso de sinais tem que ser igual ao simulado.

[0070] Cálculo de correlação dos sinais aferidos e dos sinais adquiridos em campo (real)

[0071] A diferença de tempo de propagação entre o vazamento e os

sensores (τ_{peak}) foi determinada através do pico da função de correlação cruzada entre $y_1(t)$ e $y_2(t)$. Esses sinais foram medidos pelo sensor 1 (16) e sensor 2 (17) como ilustrado na figura 5. Como $y_1(t)$ e $y_2(t)$ eram contínuos e estacionários com o valor médio configurado como zero, a função de correlação do ruído de vazamento $R_{y_1y_2}(\tau)$ foi dada por:

$$R_{y_1y_2}(\tau) = E[y_1(t)y_2(t + \tau)] \quad (3)$$

[0072] onde $R_{y_1y_2}(\tau)$ é a função de correlação cruzada do ruído de vazamento, τ o atraso de tempo, $E[\]$ é o operador de expectativa, o $y_1(t)$ é o ruído de vazamento medido pelo sensor 1 (16) e o $y_2(t)$ é o ruído de vazamento medido pelo sensor 2 (17).

[0073] A função $R_{y_1y_2}(\tau)$ pôde somente ser estimada como sinal pois foi mensurada durante um intervalo de tempo finito. Por tanto, como $y_1(t)$ e $y_2(t)$ são medidos em um intervalo de tempo em comum $0 \leq t \leq T$, o estimador enviesado $\hat{R}_{y_1y_2}(\tau)$ foi dado por:

$$\hat{R}_{y_1y_2}(\tau) = \begin{cases} \frac{1}{T} \int_0^{T-t} y_1(t)y_2(t + \tau)dt, t > 0 \\ \frac{1}{T} \int_{-t}^T y_1(t)y_2(t + \tau)dt, t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0074] Além do mais, a função de correlação cruzada em sua forma normalizada, que tem uma escala de -1 a +1, é nomeada coeficiente de correlação cruzada ($\rho_{x_1x_2}(\tau)$) e é comumente expressada como:

$$\rho_{y_1y_2}(\tau) = \frac{R_{y_1y_2}(\tau)}{\sqrt{R_{y_1y_1}(0)R_{y_2y_2}(0)}} \quad (5)$$

[0075] onde $R_{y_1y_1}(0)$ e $R_{y_2y_2}(0)$ são valores das funções de auto correlação (ACF) $R_{y_1y_1}(\tau)$ e $R_{y_2y_2}(\tau)$ em $\tau = 0$.

[0076] Dessa forma, o atraso de tempo (τ_{peak}) pôde ser também determinado aproximadamente ao calcular a fase de potência cruzada de

densidade espectral $S_{y_1y_2}(\omega)$ do ruído de vazamento, onde ω é a frequência angular dada por $\omega = 2\pi f$, e f é a frequência que fornece o número de ciclos em um período de tempo. O coeficiente de correlação cruzada $R_{y_1y_2}(\tau)$ pôde ser determinado a partir da transformada inversa de Fourier de $S_{y_1y_2}(\omega)$, de modo que:

$$R_{y_1y_2}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{y_1y_2}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (6)$$

[0077] onde $j = \sqrt{-1}$ e $S_{y_1y_2}(\omega) = |S_{y_1y_2}(\omega)| e^{j\Phi(\omega)}$, em que $|S_{y_1y_2}(\omega)|$ é o módulo de $S_{y_1y_2}(\omega)$ e $\Phi(\omega)$ é a fase. Por ter um atraso de tempo puro (τ_{peak}) entre os dois sinais, o módulo foi uma constante e $\Phi(\omega) = -\omega\tau_{peak}$. Ao utilizar $y_1(t)$ e $y_2(t)$ como ruídos brancos com banda de frequência infinita com um atraso de tempo puro (τ_{peak}), a magnitude e fase de $S_{y_1y_2}(\omega)$ ao longo da banda de frequência infinita foram dadas pela constante K e a linha constante com declive de $-\omega\tau_{peak}$ respectivamente. O coeficiente de correlação cruzada $R_{y_1y_2}(\tau)$ foi dado por $K\delta(\tau - \tau_{peak})$, no qual $\delta(\cdot)$ é a função Dirac delta

[0078] Assim, calculando a transformada inversa de Fourier do operador enviesado $\hat{S}_{y_1y_2}(\omega)$, o coeficiente de correlação cruzada enviesado $\hat{R}_{y_1y_2}(\tau)$ foi dado por:

$$\hat{R}_{y_1y_2}(\tau) = \frac{\omega_a K}{\pi} \frac{\text{sen}(\omega_a(\tau - \tau_{peak}))}{\omega_a(\tau - \tau_{peak})} \quad (7)$$

[0079] Dessa forma, mesmo que $\hat{R}_{y_1y_2}(\tau)$ não resultou em um impulso puro (função Dirac delta) por conta da banda de frequência finita dos sinais $y_1(t)$ e $y_2(t)$, ainda foi possível estimar aproximadamente o atraso de tempo τ_{peak} através do valor de τ que maximiza $\hat{R}_{y_1y_2}(\tau)$.

[0080] Como o sinal medido pelo correlacionador não teve o atraso de sinais simulado e distorções não estavam presentes no sinal simulado, então foi descartado o uso do mesmo (pois não era apto) para aquela situação similar

à situação simulada.

[0081] Ademais, o simulador virtual de vazamentos em dutos enterrados da presente invenção pôde ser utilizado para dois propósitos distintos:

[0082] Teste do correlacionador: Com o operador já treinado para utilizar o simulador e o correlacionador, quando os sinais gerados pelo processador (11) não foram semelhantes aos sinais medidos pelo correlacionador, concluiu-se que o correlacionador não estava apto para a aplicação; e

[0083] Teste do operador: Com o correlacionador já testado em etapas posteriores e verificado que estava apto para aplicação, quando os sinais gerados pelo processador (11) não foram semelhantes aos sinais medidos pelo correlacionador, concluiu-se que o operador não possuía treinamento suficiente para utilização do equipamento.

[0084] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes e alternativas, abrangidas pelo escopo das reivindicações a seguir.

Reivindicações

1. Bancada de simulação de sinais de vazamento em duto **caracterizado** por compreender:

- a. ao menos um transdutor eletromecânico (9);
- b. ao menos um sensor de vibração (10);
- c. ao menos um processador (11);

em que,

- o sensor de vibração (10) é associado ao transdutor eletromecânico (9);
- o processador (11) direciona o sinal de vazamento simulado para o transdutor eletromecânico (9), a partir de um meio de direcionamento de sinais (12);
- o processador (11) recebe sinal de medição gerado originalmente pelo sensor de vibração (10); e
- o processador (11) compreender ao menos uma ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema.

2. Bancada de simulação de sinais de vazamento em duto, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pela ferramenta de filtragem de dinâmica do sistema compreender calibração automática a partir da caracterização do sistema.

3. Bancada de simulação de sinais de vazamento em duto, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o meio de direcionamento de sinais (12) ser uma placa de áudio.

4. Bancada de simulação de sinais de vazamento em duto, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender adicionalmente ao menos um condicionador de sinais (13) associado ao sensor de vibração (10) e ao meio de direcionamento de sinais (12).

5. Bancada de simulação de sinais de vazamento em duto, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender adicionalmente um amplificador de sinais (14) associado ao transdutor eletromecânico (9) e ao

meio de direcionamento de sinais (12).

6. Bancada de simulação de sinais de vazamento em duto, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** por compreender dois ou mais transdutores eletromecânicos (9) e dois ou mais sensores de vibração (10).

7. Método de simulação de sinais de vazamento em duto **caracterizado** por compreender as etapas de:

- a. caracterização de simulador e calibração automática por um processador (11);
- b. envio, pelo processador (11), de sinal de vazamento, previamente armazenado, para ao menos um transdutor eletromecânico (9);
- c. medição, por um sensor de vibração (10), de sinais reproduzidos pelo transdutor eletromecânico (9) e envio dos sinais de medição, gerados originalmente pelo dito sensor de vibração (10), para o processador (11);
- d. exibição do sinal de medição pelo processador (11);

em que, o envio, pelo processador (11), de sinal de vazamento compreende uma etapa de filtragem de dinâmica, pelo processador (11), a partir da caracterização do simulador.

8. Método de simulação de sinais de vazamento em duto, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** por compreender adicionalmente a etapa de aferição de veracidade dos sinais medidos pelo sensor de vibração (10) de sinais reproduzidos pelo transdutor eletromecânico (9) por meio de comparação.

9. Método de simulação de sinais de vazamento em duto, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato da etapa de filtragem dinâmica ser implementada por filtro digital por meio de compensador.

FIGURAS

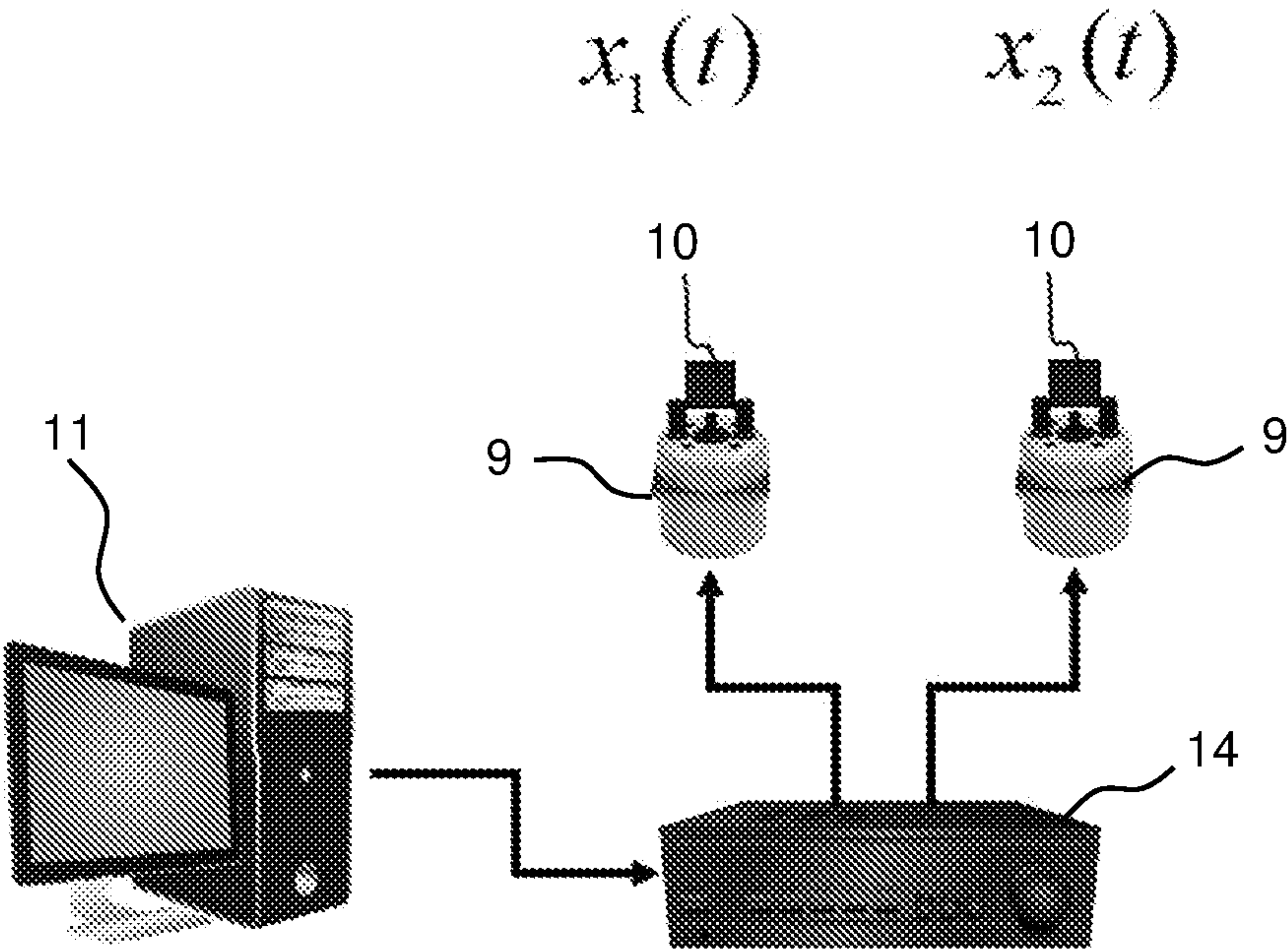


Figura 1

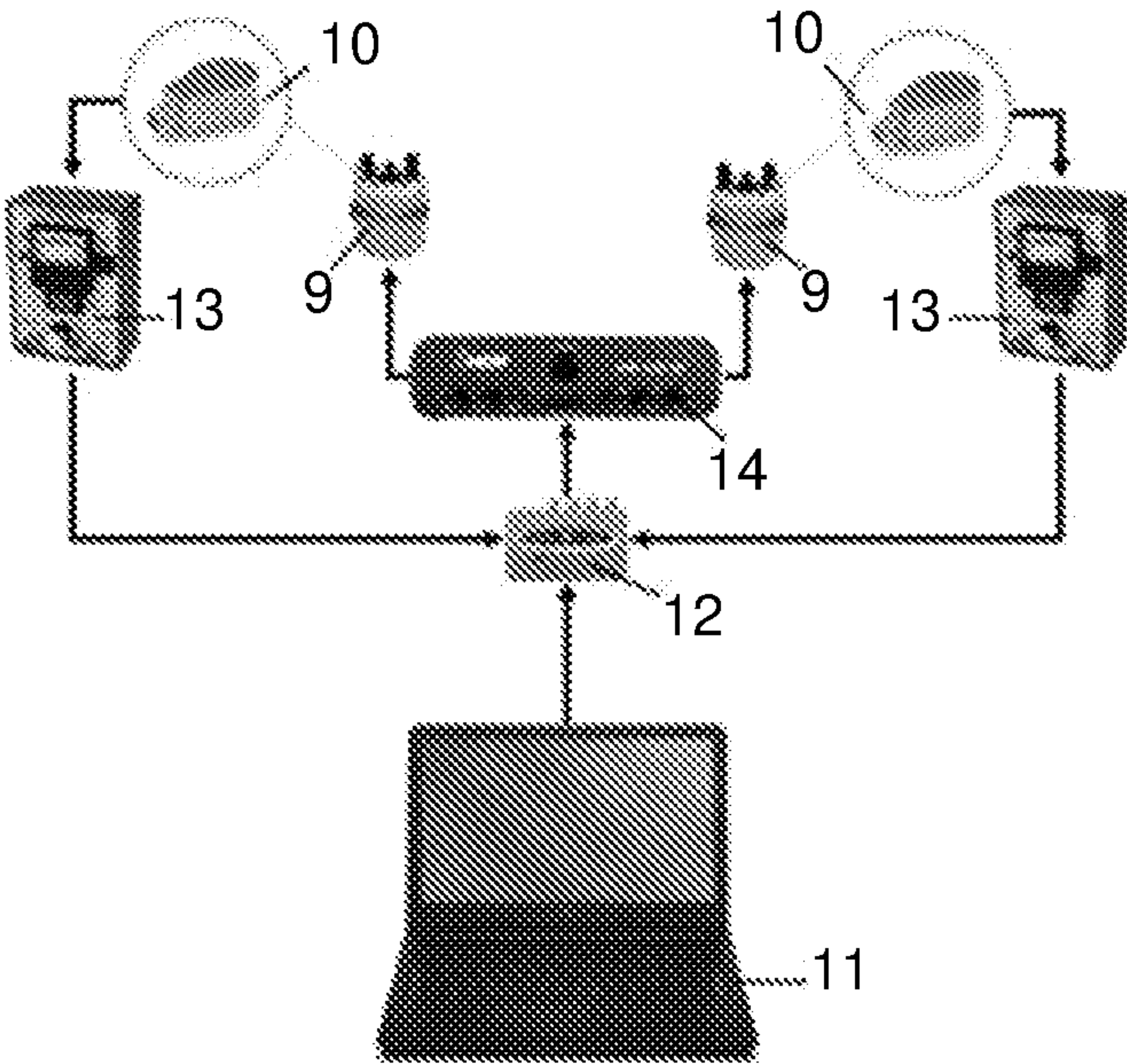


Figura 2

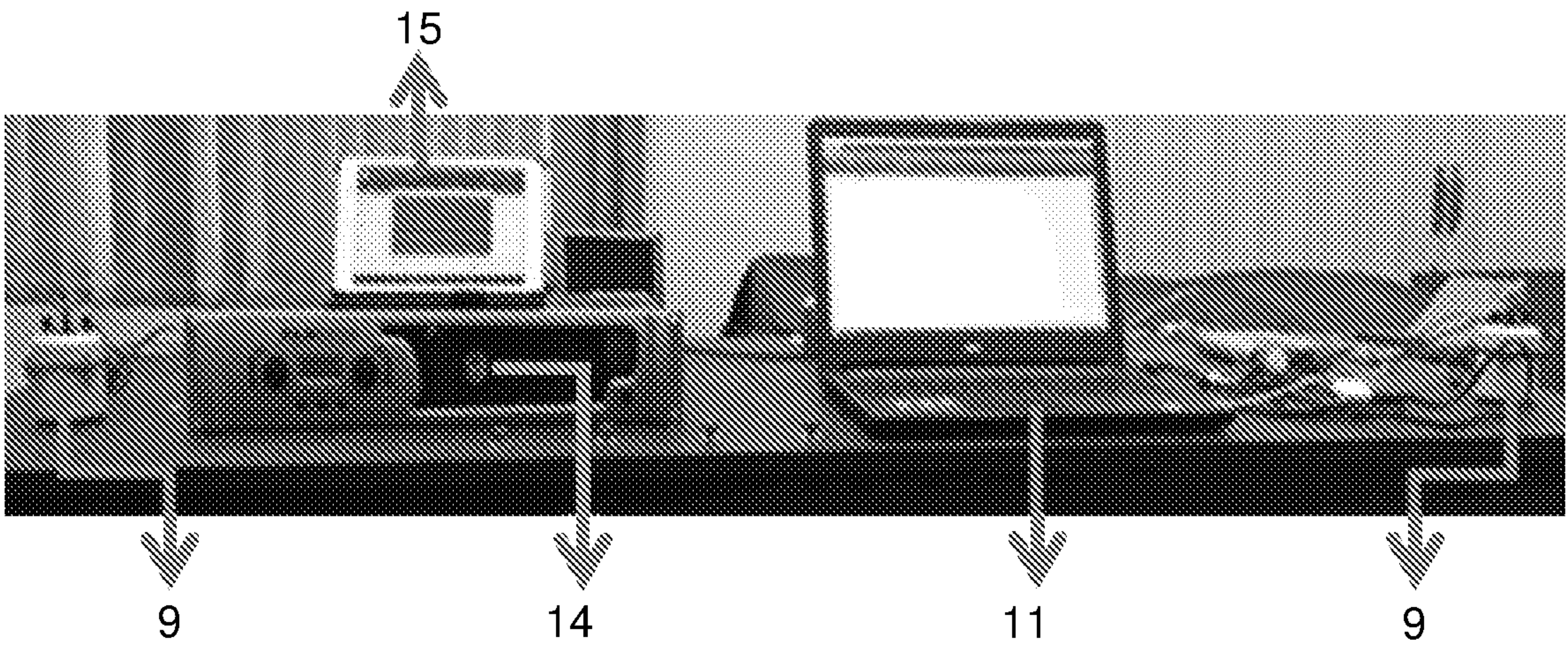


Figura 3

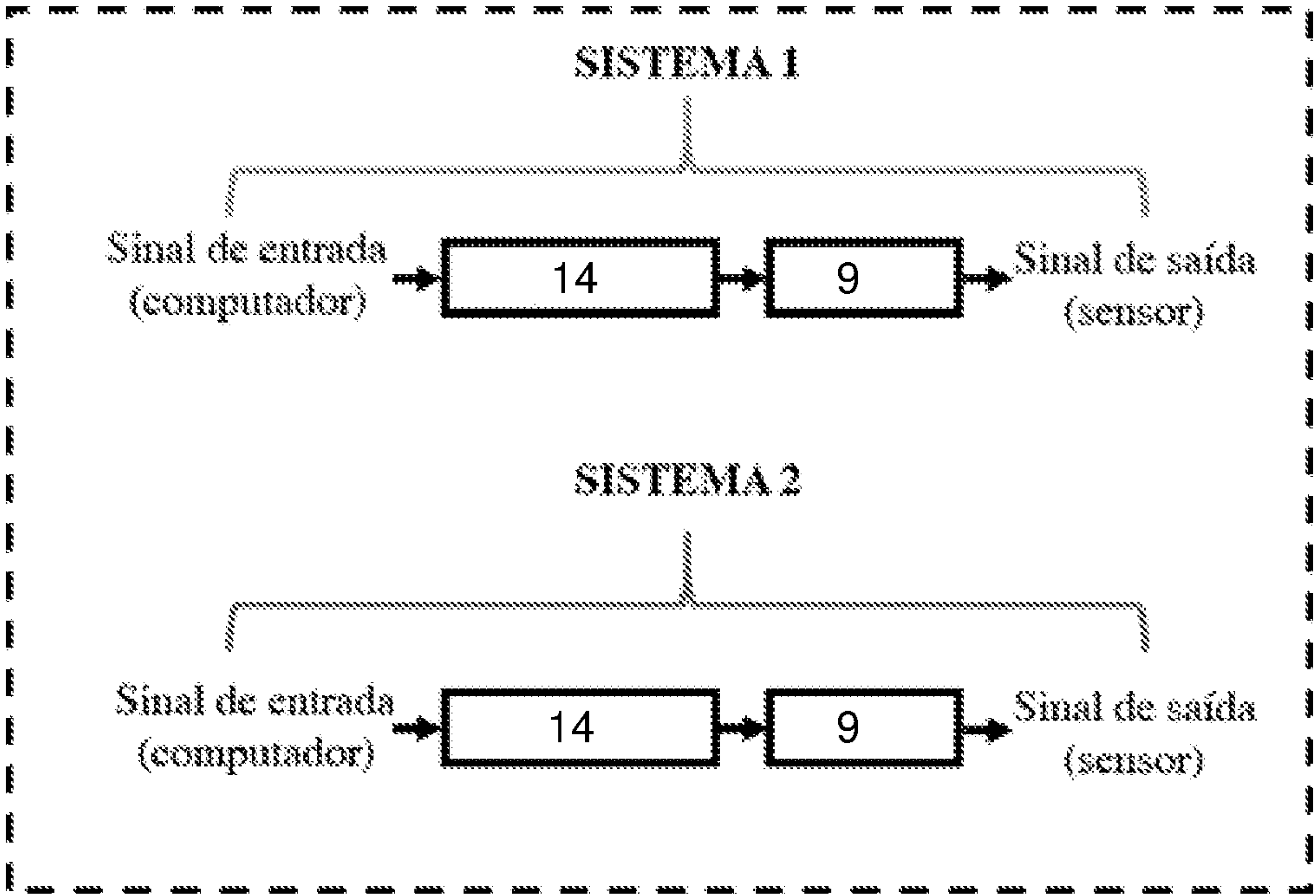


Figura 4

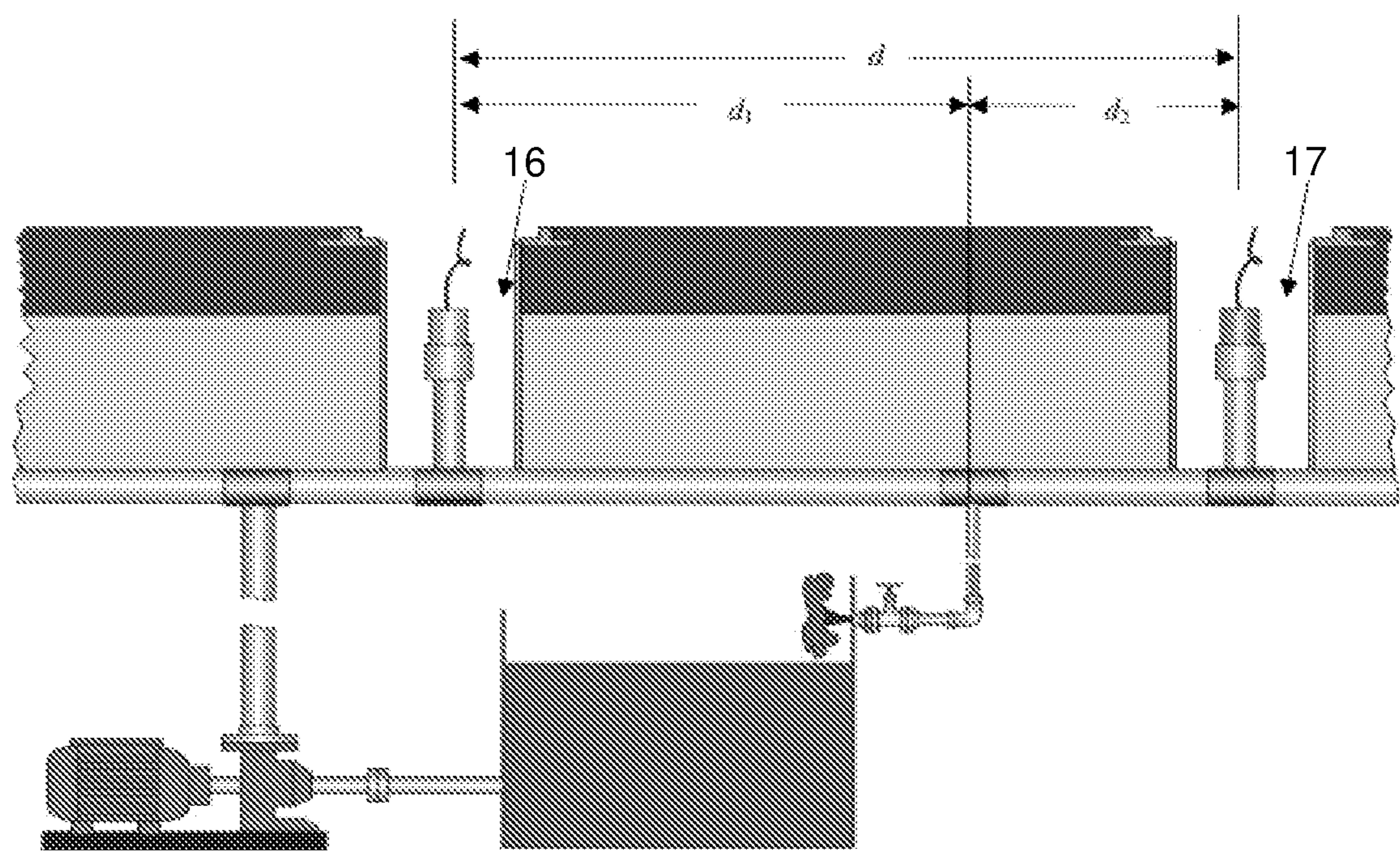


Figura 5

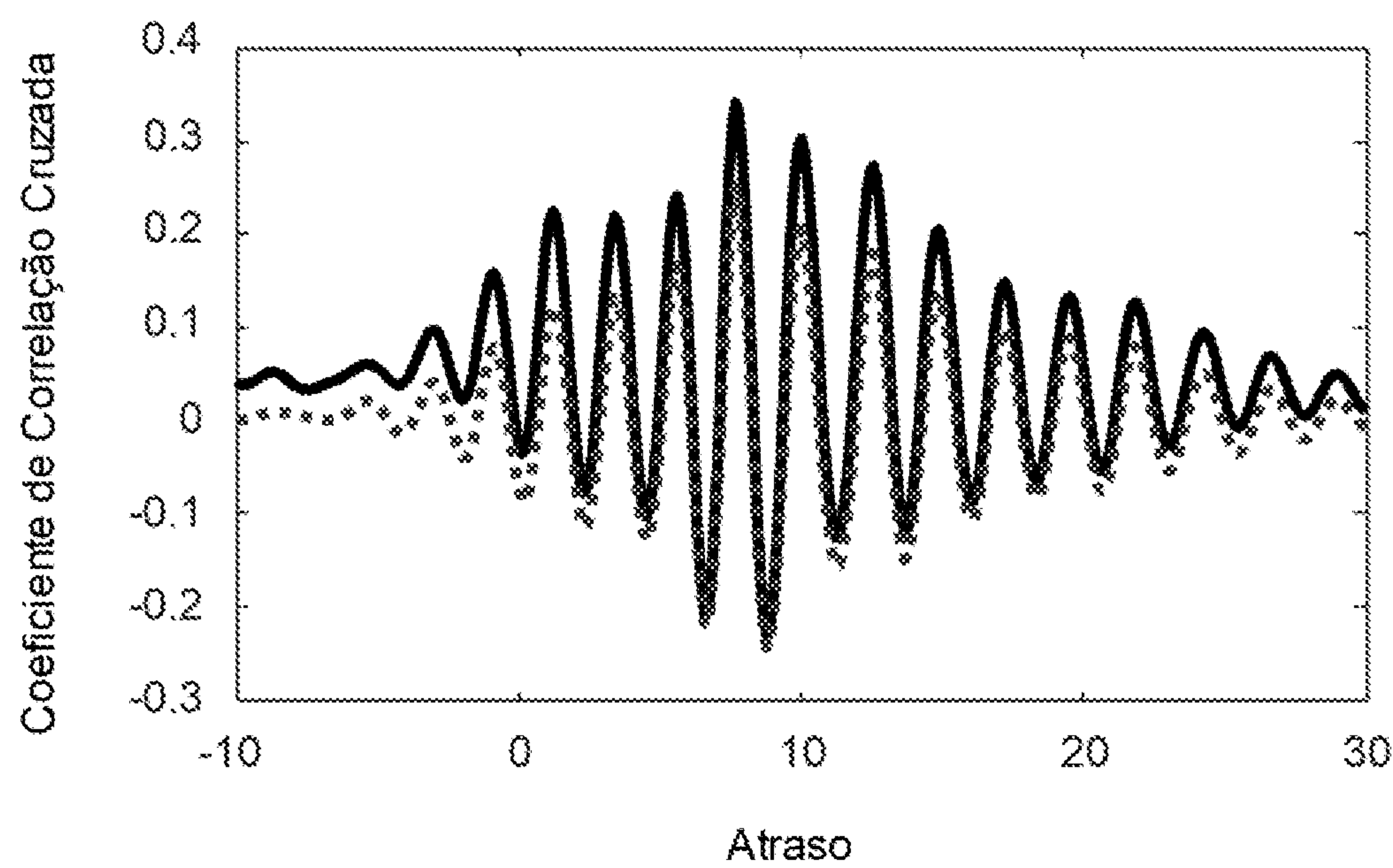


Figura 6

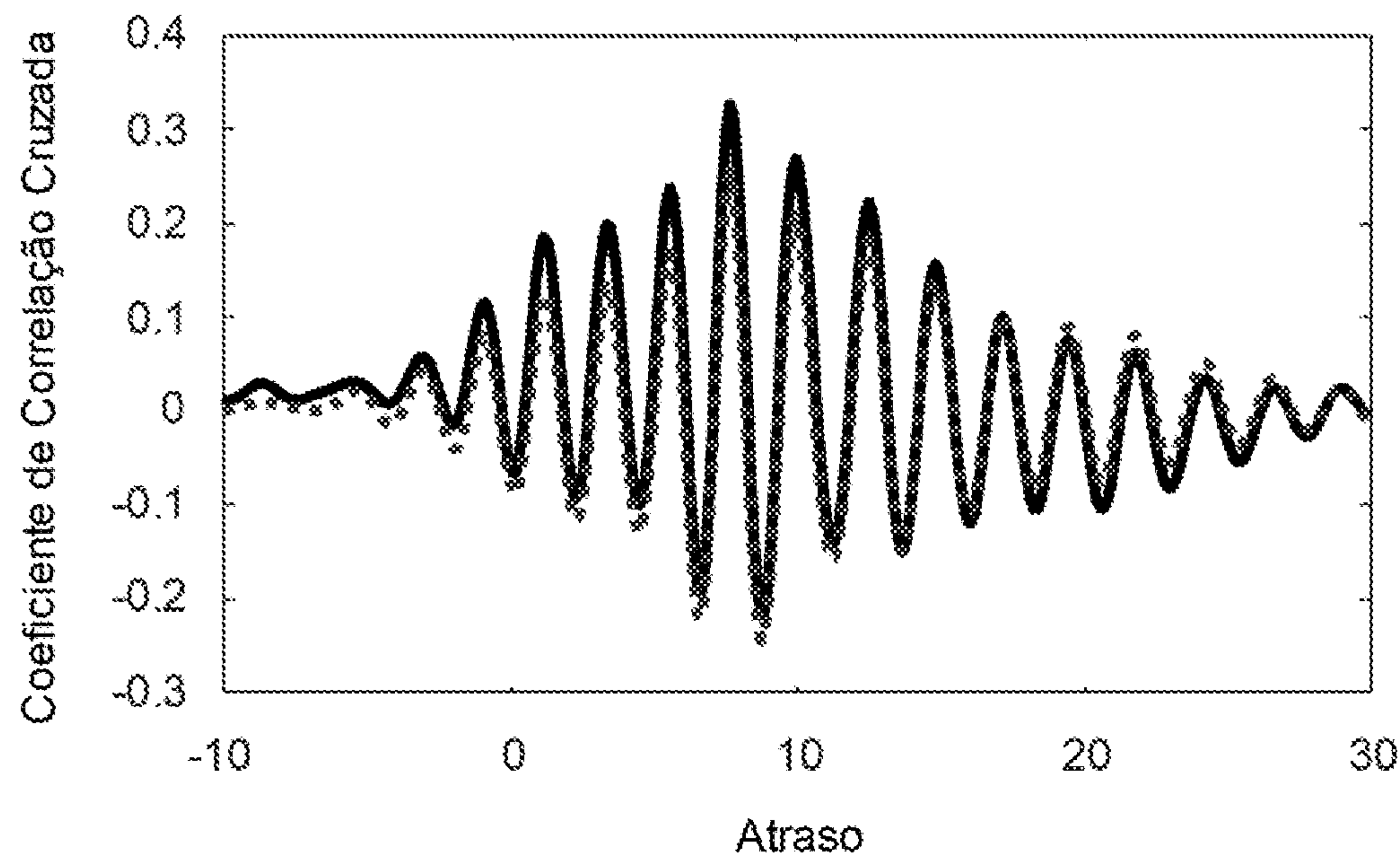


Figura 7

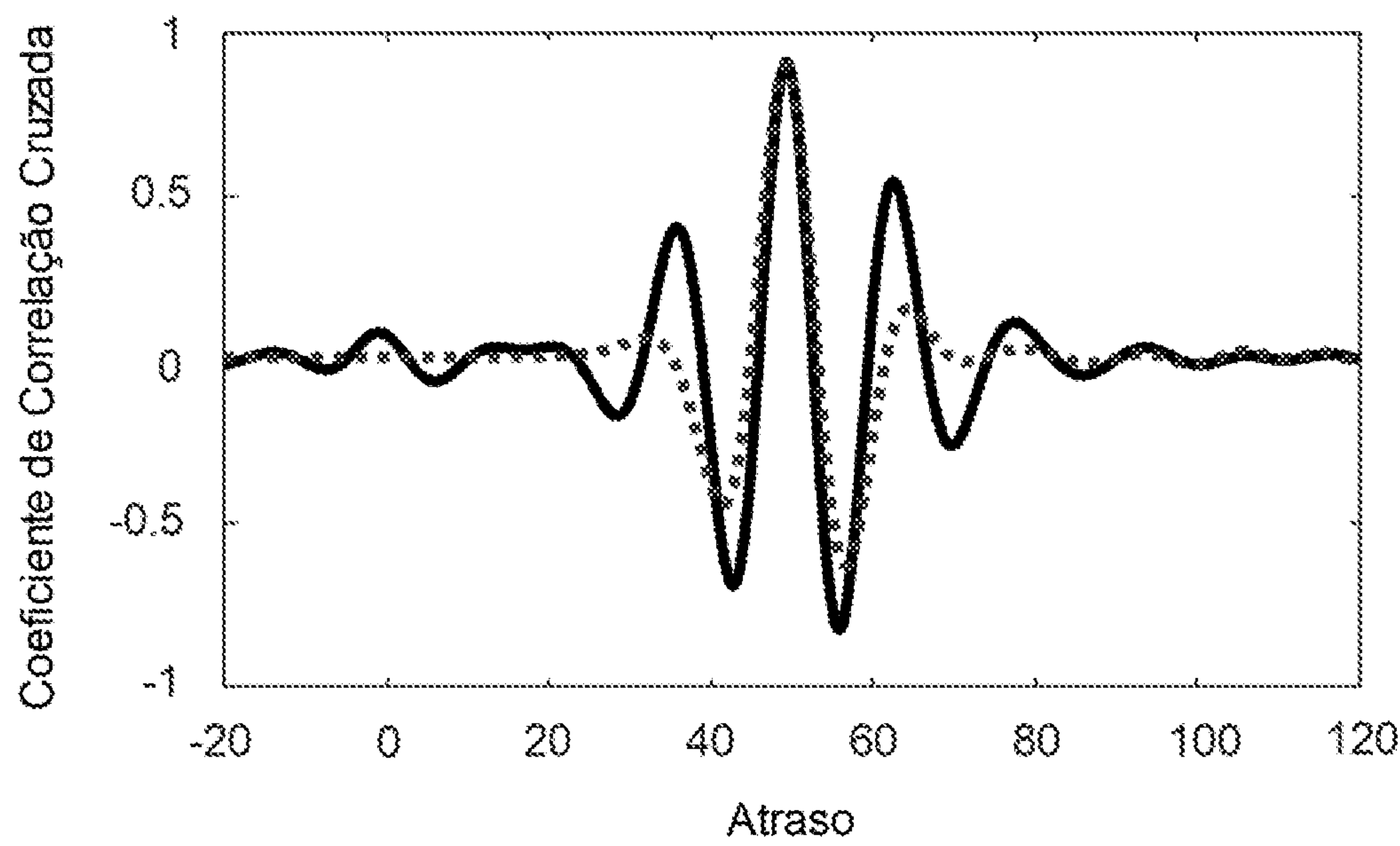


Figura 8

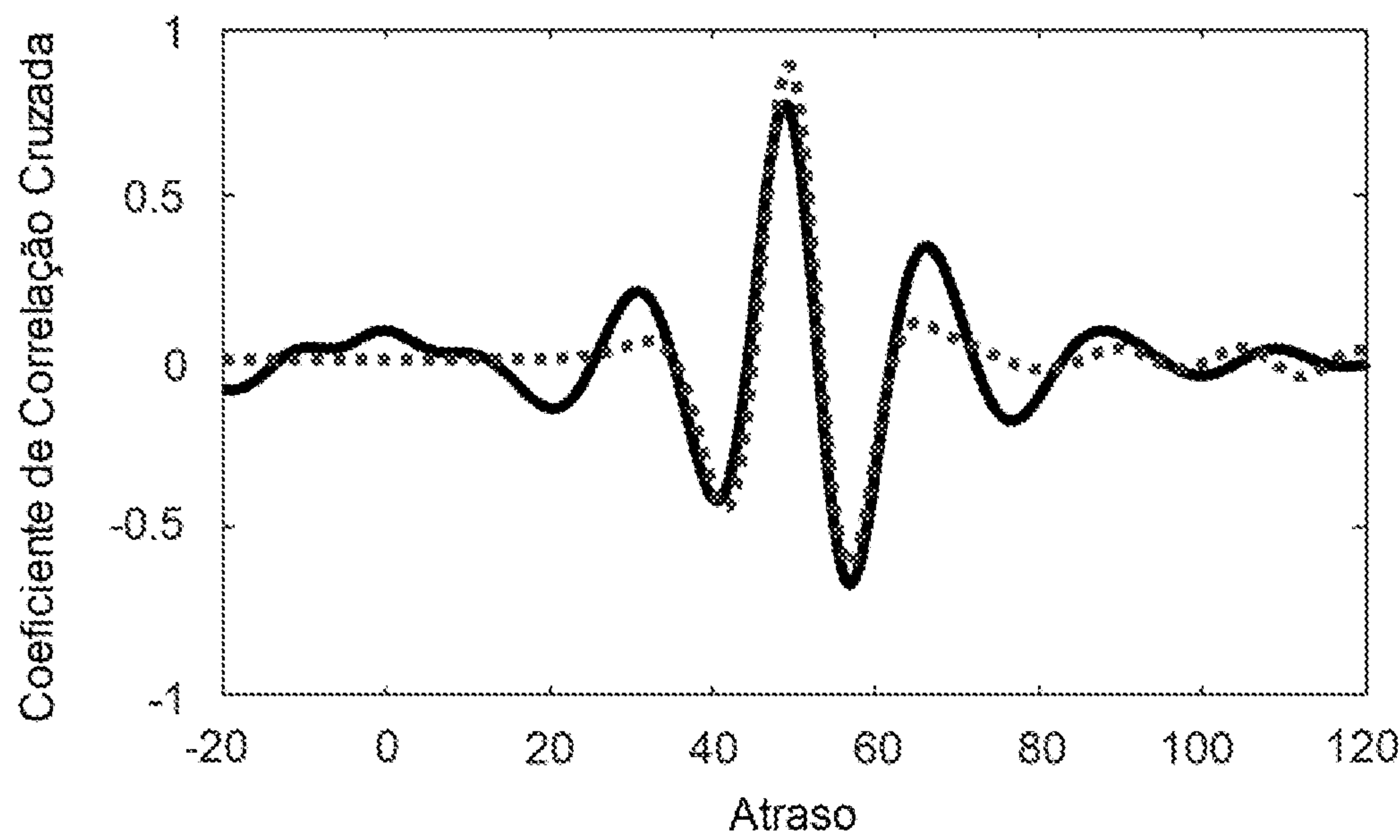


Figura 9

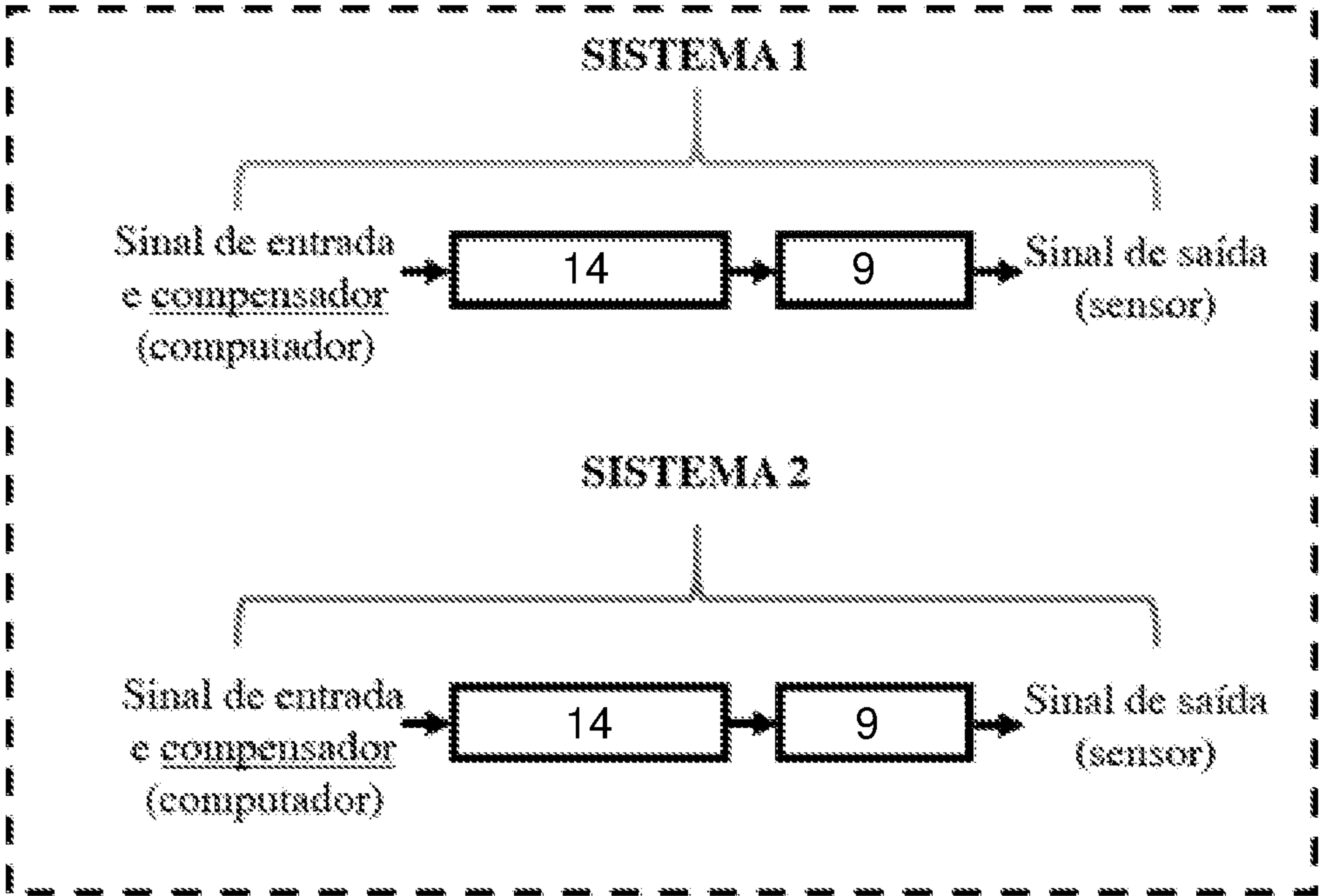


Figura 10

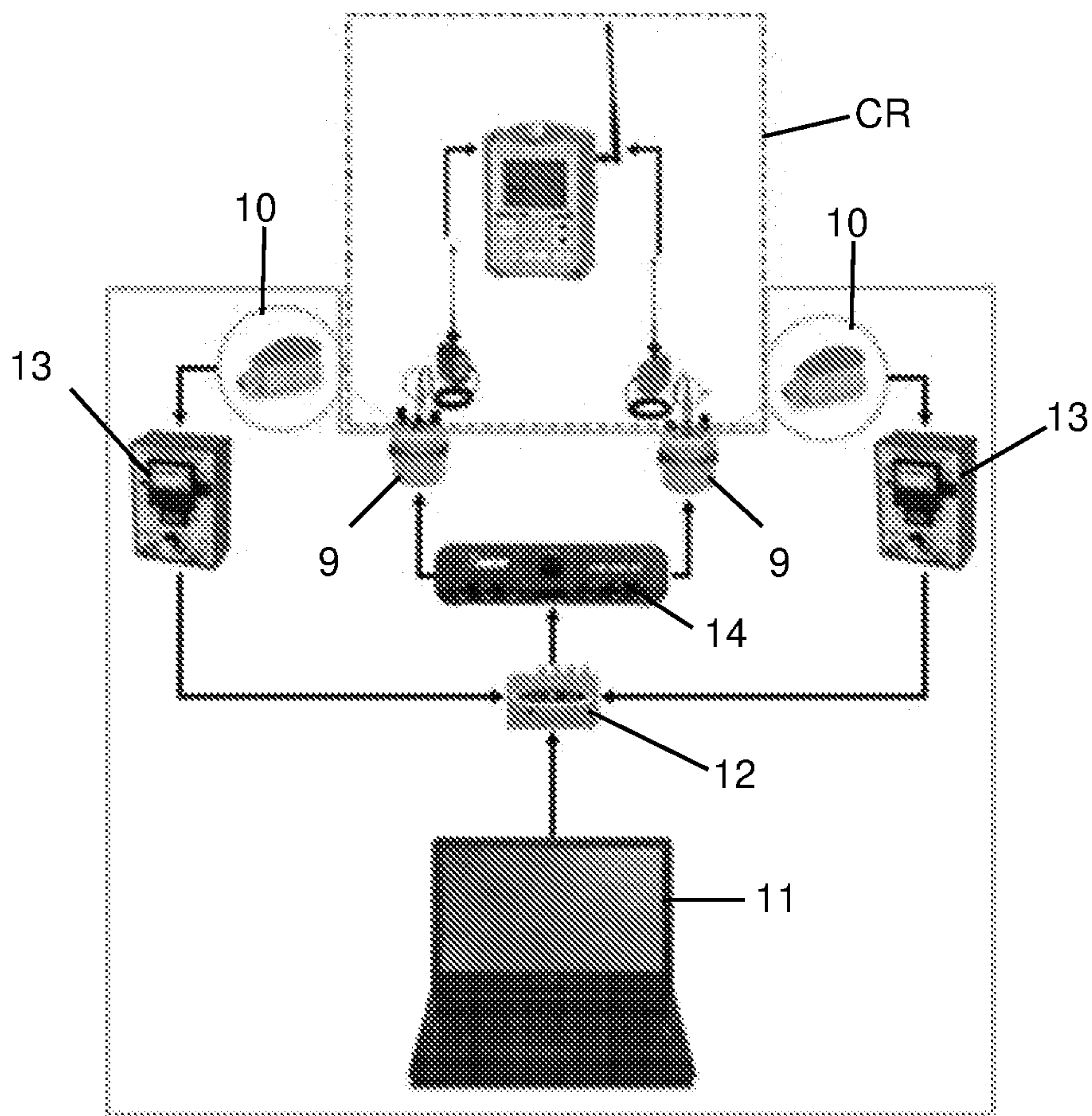


Figura 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/BR2020/050266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC: G09B9/00 (2006.01), F17D5/06 (2006.01), G01M3/24 (2006.01), G01N29/07 (2006.01)

CPC: G09B9/00, F17D5/06, G01M3/243, G01N29/07

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G09B; F17D; G01M; G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

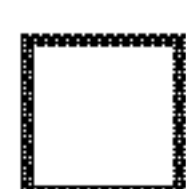
Base de Dados INPI-BR

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, ESPACENET, GOOGLE PATENTS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2014050921 A1 (NEC CORP [JP]) 03 April 2014 (2014-04-03) (abstract; Figs. 1 – 6; par. [0012] – [0017], [0022] – [0027], [0029] – [0035]) (cited in the application)	1 – 9
Y	US 7475596 B2 (CA NAT RESEARCH COUNCIL [CA]) 13 January 2009 (2009-01-13) (abstract; Figs. 1a – 4; col. 1, l. 61 – col. 2, l. 20)	1 – 9
Y	US 6453247 B1 (CA NAT RESEARCH COUNCIL [CA]) 17 September 2002 (2002-09-17) (col. 2, l. 12 – col. 4, l. 31; col. 5, l. 22 – 57) (cited in the application)	1 – 9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 September 2020

Date of mailing of the international search report

06 October 2020

Name and mailing address of the ISA/ INPI

INSTITUTO NACIONAL DA
PROPRIEDADE INDUSTRIAL

Rua Mayrink Veiga nº 9, 6º andar

cep: 20090-910, Centro - Rio de Janeiro/RJ

Facsimile No.

Authorized officer

Fabio Pacheco Freeland

+55 21 3037-3493/3742

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on Patent Family Members

International application No.

PCT/BR2020/050266

WO 2014050921 A1	2014-04-03	NONE	
-----	-----	-----	-----
US 7475596 B2	2009-01-13	US 2008078247 A1	2008-04-03
		AU 2006261535 A1	2006-12-28
		CA 2612835 A1	2006-12-28
		EP 1896842 A1	2008-03-12
		JP 2013061350 A	2013-04-04
		JP 5687262 B2	2015-03-18
		JP 2015083979 A	2015-04-30
		JP 5930427 B2	2016-06-08
		JP 2008544260 A	2008-12-04
		NZ 564647 A	2011-07-29
		US 2006283251 A1	2006-12-21
		US 7328618 B2	2008-02-12
		WO 2006136013 A1	2006-12-28
-----	-----	-----	-----
US 6453247 B1	2002-09-17	AT 308036 T	2005-11-15
		AU 2660501 A	2001-07-24
		CA 2397174 A1	2001-07-19
		DE 60114366 D1	2005-12-01
		EP 1250578 A2	2002-10-23
		WO 0151904 A2	2001-07-19
-----	-----	-----	-----

A. CLASSIFICAÇÃO DO OBJETO

IPC: G09B9/00 (2006.01), F17D5/06 (2006.01), G01M3/24 (2006.01), G01N29/07 (2006.01)

CPC: G09B9/00, F17D5/06, G01M3/243, G01N29/07

De acordo com a Classificação Internacional de Patentes (IPC) ou conforme a classificação nacional e IPC

B. DOMÍNIOS ABRANGIDOS PELA PESQUISA

Documentação mínima pesquisada (sistema de classificação seguido pelo símbolo da classificação)

G09B; F17D; G01M; G01N

Documentação adicional pesquisada, além da mínima, na medida em que tais documentos estão incluídos nos domínios pesquisados

Base de Dados INPI-BR

Base de dados eletrônica consultada durante a pesquisa internacional (nome da base de dados e, se necessário, termos usados na pesquisa)

EPODOC, ESPACENET, GOOGLE PATENTS

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoria*	Documentos citados, com indicação de partes relevantes, se apropriado	Relevante para as reivindicações Nº
Y	WO 2014050921 A1 (NEC CORP [JP]) 03 abril 2014 (2014-04-03) (abstract; Figs. 1 – 6; par. [0012] – [0017], [0022] – [0027], [0029] – [0035]) (citado no pedido)	1 – 9
Y	US 7475596 B2 (CA NAT RESEARCH COUNCIL [CA]) 13 janeiro 2009 (2009-01-13) (abstract; Figs. 1a – 4; col. 1, l. 61 – col. 2, l. 20)	1 – 9
Y	US 6453247 B1 (CA NAT RESEARCH COUNCIL [CA]) 17 setembro 2002 (2002-09-17) (col. 2, l. 12 – col. 4, l. 31; col. 5, l. 22 – 57) (citado no pedido)	1 – 9

☐ Documentos adicionais estão listados na continuação do quadro C☒ Ver o anexo de famílias das patentes

* Categorias especiais dos documentos citados:

“A” documento que define o estado geral da técnica, mas não é considerado de particular relevância.

“E” pedido ou patente anterior, mas publicada após ou na data do depósito internacional

“L” documento que pode lançar dúvida na(s) reivindicação(ões) de prioridade ou na qual é citado para determinar a data de outra citação ou por outra razão especial

“O” documento referente a uma divulgação oral, uso, exibição ou por outros meios.

“P” documento publicado antes do depósito internacional, porém posterior a data de prioridade reivindicada.

“T” documento publicado depois da data de depósito internacional, ou de prioridade e que não conflita como depósito, porém citado para entender o princípio ou teoria na qual se baseia a invenção.

“X” documento de particular relevância; a invenção reivindicada não pode ser considerada nova e não pode ser considerada envolver uma atividade inventiva quando o documento é considerado isoladamente.

“Y” documento de particular relevância; a invenção reivindicada não pode ser considerada envolver atividade inventiva quando o documento é combinado com outro documento ou mais de um, tal combinação sendo óbvia para um técnico no assunto.

“&” documento membro da mesma família de patentes.

Data da conclusão da pesquisa internacional

29 setembro 2020

Data do envio do relatório de pesquisa internacional:

06/10/2020

Nome e endereço postal da ISA/BR



INSTITUTO NACIONAL DA
 PROPRIEDADE INDUSTRIAL
 Rua Mayrink Veiga nº 9, 6º andar
 cep: 20090-910, Centro - Rio de Janeiro/RJ
 +55 21 3037-3663

Nº de fax:

Funcionário autorizado

Fabio Pacheco Freeland

Nº de telefone:

+55 21 3037-3493/3742

RELATÓRIO DE PESQUISA INTERNACIONAL
 Informação relativa a membros da família da patentes

Depósito internacional Nº
PCT/BR2020/050266

Documentos de patente citados no relatório de pesquisa	Data de publicação	Membro(s) da família de patentes	Data de publicação
WO 2014050921 A1	2014-04-03	Nenhum	
-----	-----	-----	-----
US 7475596 B2	2009-01-13	US 2008078247 A1	2008-04-03
		AU 2006261535 A1	2006-12-28
		CA 2612835 A1	2006-12-28
		EP 1896842 A1	2008-03-12
		JP 2013061350 A	2013-04-04
		JP 5687262 B2	2015-03-18
		JP 2015083979 A	2015-04-30
		JP 5930427 B2	2016-06-08
		JP 2008544260 A	2008-12-04
		NZ 564647 A	2011-07-29
		US 2006283251 A1	2006-12-21
		US 7328618 B2	2008-02-12
		WO 2006136013 A1	2006-12-28
-----	-----	-----	-----
US 6453247 B1	2002-09-17	AT 308036 T	2005-11-15
		AU 2660501 A	2001-07-24
		CA 2397174 A1	2001-07-19
		DE 60114366 D1	2005-12-01
		EP 1250578 A2	2002-10-23
		WO 0151904 A2	2001-07-19
-----	-----	-----	-----