



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

(21) **PI 1002159-0 A2**



(22) Data de Depósito: 15/04/2010
(43) Data da Publicação: 07/02/2012
(RPI 2144)

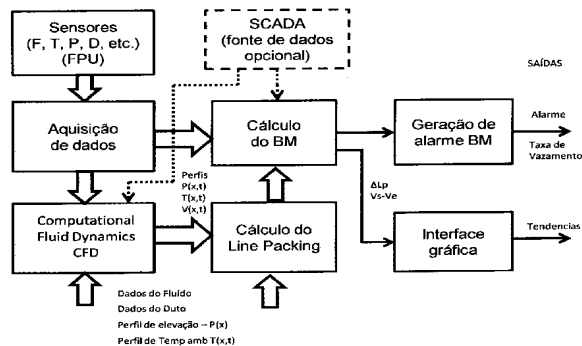
(51) *Int.Cl.:*
F15B 5/00

(54) Título: SISTEMA INTEGRADO COM A TECNOLOGIA ACÚSTICA, BALANÇO DE MASSA E REDE NEURAL PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS

(73) Titular(es): ASEL-TECH TECNOLOGIA E AUTOMACAO LTDA

(72) Inventor(es): Julio Roberto Alonso, brasileiro, industrial

(57) Resumo: SISTEMA INTEGRADO COM A TECNOLOGIA ACÚSTICA, BALANÇO DE MASSA E REDE NEURAL PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS. O presente invento diz respeito a um sistema integrado com as tecnologias de balanço de massa, acústica e rede neural artificial para detecção, localização e quantificação de furos ou vazamentos em dutos, cujo sistema é dotado de: sensores de pressão, instalados em pontos estratégicos ao longo do duto, que agem como sensores acústicos ou sônicos; unidades remotas denominadas FPU (Field Processing Units); filtros analógicos e digitais; redes neurais artificiais (RNA); e, Central de Monitoramento onde as informações do sistema são combinadas e processadas, utilizando algoritmos baseados em redes neurais que, recebem alguns sinais provenientes do CFD (Computational Fluid Dynamics) do Sistema de Balanço de Massa para atualização, em tempo real, de alguns dados relacionados ao escoamento como, densidade do fluido, velocidade de propagação das ondas no fluido, velocidade de fluxo e coeficiente de atenuação do sinal.



SISTEMA INTEGRADO COM A TECNOLOGIA ACÚSTICA, BALANÇO DE MASSA E REDE NEURAL PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS

5 Campo da Invenção

O Sistema Integrado de Detecção, Localização e Quantificação de Vazamentos proposto é implementado com o uso combinado de duas tecnologias distintas, a tecnologia acústica e de balanço de massa. As duas tecnologias possuem características de funcionamento complementares gerando diversas vantagens com a sua integração, principalmente, porque as mesmas incorporam redes neurais artificiais (RNA), que em caso de ocorrência de um vazamento, propiciam a identificação e validação do alarme para declaração do mesmo na tela de operação. Além da indicação do alarme, o invento permite identificar a correta localização do vazamento e quantificação do volume vazado, além de antecipar informações e alertas ao usuário, mesmo antes de serem atingidos os limiares de emissão de alarmes.

O sistema apresenta uma solução robusta e confiável que além de permitir uma rápida detecção, localização e quantificação mesmo em furos preexistentes ou progressivos, possibilita uma correta localização e quantificação do vazamento, evitando perda de produto, danos ao meio ambiente e praticamente eliminando a ocorrência de falsos alarmes de vazamentos.

25 Estado da técnica

Como se sabe, a tecnologia acústica já é conhecida da literatura de detecção de vazamentos em dutos e baseia-se na detecção dos transientes hidráulicos produzidos no momento do surgimento do vazamento, que se propagam através do próprio

escoamento atingindo longas distâncias. Várias patentes empregam o uso da tecnologia acústica, dentre as quais citamos a US 5,416,724, US 5,623,421, US 5,625,150, US 5,675,506 e US 6,567,795 e PI0705728-8.

5 Das patentes citadas acima, destacamos o documento PI0705728-8, o qual possui o mesmo inventor do sistema ora reivindicado e, em linhas gerais, descreve um sistema de tecnologia acústica e rede neural artificial (RNA) para detecção dos sinais de vazamentos em dutos. A dita detecção é feita com uso de sensores
10 de pressão especiais, instalados em pontos estratégicos ao longo do duto, que agem como sensores acústicos ou sônicos. Os sinais captados pelos sensores são lidos e processados localmente por unidades remotas denominadas Field Processing Units – FPU, que processam localmente os sinais utilizando várias técnicas,
15 diferentes tipos de filtros analógicos e digitais e por meio de redes neurais artificiais (RNA), sendo que as unidades FPU transmitem os sinais processados à Central de monitoramento e, em caso de ocorrência de vazamentos, anunciam os alarmes na tela de operação.

20 O sistema descrito na PI0705728-8 é muito eficiente quanto à detecção e localização de vazamentos, porém o mesmo não apresenta quantificação do vazamento.

 A tecnologia de Balanço de massa, ou balanço de volume compensado, também é conhecida da técnica de detecção de
25 vazamentos em dutos. A título de exemplo, citamos o documento US 4,308,746 o qual descreve várias equações conhecidas da literatura, que são usadas para detectar vazamentos a partir de variáveis medidas no duto. Vale destacar que a tecnologia de balanço de massa mostra-se parcialmente ineficaz para detecção de

vazamentos em dutos, tendo em vista que não garante a precisão e rapidez necessárias para detecção e localização dos ditos vazamentos.

Objetivo da invenção

5 A invenção ora proposta tem por objetivo integrar as tecnologias de balanço de massa, acústica e rede neural artificial para detecção, localização e quantificação de furos ou vazamentos em dutos.

Vantagens do invento

10 - O invento proporciona a localização precisa do vazamento e quantifica o produto vazado do duto.

- As informações provenientes dos dois sistemas são cruzadas, antes da tomada de decisão e emissão do alarme para o usuário.

15 - a combinação do sistema acústico, balanço de massa e rede neural artificial (RNA), oferece um ganho de confiabilidade expressivo ao sistema, reduzindo substancialmente o número de ocorrências de falsos alarmes.

Descrição das figuras

20 A figura 1 ilustra o algoritmo de detecção, localização e quantificação e arquitetura geral do sistema integrado com as tecnologias acústica e balanço de massa, sendo que os principais módulos são apresentados em blocos.

25 A figura 2 ilustra o sistema de detecção, localização e quantificação por balanço de massa do invento e respectivos módulos e algoritmos, sem a integração com o sistema acústico.

A figura 3 ilustra um exemplo de implementação do gráfico de barras do sistema de detecção, localização e quantificação.

Descrição da invenção

O sistema de detecção por princípio acústico, representado pelos três blocos superiores na figura 1, funciona da mesma maneira prevista na PI0705728-8. Isto é, a detecção dos

5 sinais é feita com uso de sensores de pressão especiais, instalados em pontos estratégicos ao longo do duto, que agem como sensores acústicos ou sônicos. Os sinais dos sensores são lidos por unidades remotas denominadas Field Processing Units – FPU, que processam localmente os sinais utilizando várias técnicas, diferentes tipos de

10 filtros analógicos e digitais e por meio de redes neurais artificiais (RNA). As unidades FPU transmitem os sinais processados à Central de Monitoramento onde as informações do sistema são combinadas e processadas, utilizando também algoritmos baseados em redes neurais que, em caso de ocorrência de um vazamento, anunciará o

15 alarme na tela de operação indicando sua correta localização, com exceção de que no invento proposto ele recebe alguns sinais provenientes do CFD do Sistema de Balanço de massa para atualização, em tempo real, de alguns dados relacionados ao escoamento como, densidade do fluido, velocidade de propagação

20 das ondas no fluido, velocidade de fluxo e coeficiente de atenuação do sinal. A possibilidade de atualização destes dados em tempo real proporciona uma melhora no desempenho do sistema acústico, por exemplo, minimizando os erros de localização resultantes de mudanças no regime de escoamento, sendo esta uma das vantagens

25 advindas da integração das duas tecnologias.

No processo final de validação dos alarmes, último bloco à direita na figura 1, novamente são utilizadas informações provenientes dos dois sistemas para uma checagem cruzada, antes da tomada de decisão e emissão do alarme para o usuário. Esta

combinação oferece um ganho de confiabilidade expressivo ao sistema, reduzindo substancialmente o número de ocorrências de falsos alarmes.

Em termos de hardware, também há vantagens advindas da coexistência dos dois sistemas. Pode-se, por exemplo, conectar os sensores pertencentes ao sistema de balanço de massa às entradas das próprias unidades remotas do sistema acústico, transmitindo-se os dados através da rede local das FPU. Em alguns casos, é possível até mesmo compartilhar as funções dos sensores acústicos com o sistema de balanço de massa, permitindo a obtenção de pontos de medida de pressão adicionais ao longo da linha. Os pontos de medida adicionais favorecem enormemente o desempenho dos algoritmos de balanço de massa permitindo o modelamento mais aproximado dos perfis pelo módulo CFD.

Os algoritmos de detecção acústica presentes no invento também apresentam desempenho bastante melhorado com o emprego de redes neurais artificiais (RNA), que são treinadas para o reconhecimento dos padrões de vazamento específicos de cada aplicação. Esta implementação por si só já contribui para a redução das ocorrências de falsos alarmes, melhorando em muito a confiabilidade do sistema acústico.

Também é possível a simulação eletrônica de vazamentos por meio da excitação dos filtros, o que possibilita a rápida avaliação das respostas de todo o sistema acústico.

O sistema de detecção, localização e quantificação por Balanço de massa do invento pode ser observado através da figura 2, porém, sem a integração com o sistema acústico.

A tecnologia de Balanço de massa, ou balanço de volume compensado, empregada no invento possui uma implementação especial, facilitando a integração dos dois sistemas.

Os sinais que permitem os cálculos cíclicos do Balanço de massa são obtidos de medidores de vazão, pressão, temperatura e densidade, instalados nos extremos do trecho a ser protegido, podendo ser utilizada a instrumentação já existente na planta, neste caso obtendo-se os dados através do SCADA (Sistema de controle e aquisição de dados).

Na central de monitoramento as informações dos dois sistemas são combinadas e processadas, inclusive com uso de redes neurais para validação dos alarmes.

A Central de monitoramento é baseada em um computador do tipo PC dotado de um driver OPCi, de fabricação própria, módulos de detecção acústica e de balanço de massa, e um sistema supervisorio que funciona como Interface Homem Máquina (IHM) para operação de todo o sistema, entrada de parâmetros, etc.

As informações e funções da IHM podem ser replicadas para outras localidades via comunicação em OPC.

O sistema de Balanço de massa compreende essencialmente os seguintes módulos e algoritmos:

a) Módulo de aquisição e validação dos dados de entrada

O módulo de aquisição e validação de dados tem como função principal assegurar a obtenção dos dados de campo de forma correta e confiável. Neste módulo estão inclusas ferramentas para checagem da coerência dos dados e validação dos mesmos, bem como algumas rotinas de tratamento para os casos de perda parcial dos dados, dados corrompidos, valores fora de faixa, etc.

Em instalações novas, que ainda não possuem instrumentação instalada, os instrumentos necessários à operação do Balanço de massa, como medidores de fluxo, pressão, temperatura e densidade, podem ser conectados às entradas das unidades remotas do sistema acústico (FPU), transmitindo-se os dados à central através da rede de comunicação das FPU.

Nos casos em que já existe instrumentação para medição de fluxo, pressão e temperatura, os dados necessários para operação do invento podem ser obtidos diretamente a partir do SCADA (Sistema de controle e aquisição de dados) da planta, somente fazendo-se as conversões e ajustes de escala necessários. Rotinas de aquisição de dados um pouco mais simplificadas são previstas também nos módulos computacionais para estes casos de aquisição via SCADA.

Ambas implementações aparecem ilustradas na figura 2.

b) Algoritmos CFD (Computational Fluid Dynamics) para modelagem do escoamento, incluindo o regime transiente, a partir dos dados de entrada

O módulo CFD previsto no algoritmo de Balanço de massa proposto baseia-se em equações clássicas de escoamento e executa as seguintes funções:

- Modelagem termo-fluidodinâmica (CFD) capaz de reconstruir, em tempo real, os perfis transientes de pressão, temperatura e velocidade, a partir de medições pontuais de pressão, vazão e temperatura;

- Cálculo dos perfis de pressão, temperatura e velocidade em toda a extensão do trecho;

- Cálculo do line-packing em regime transiente com correção das influências da temperatura e da pressão no fluido e no aço, de acordo com as normas API -1149 e API - 11.1;

5 - Compensação da influencia do perfil vertical do duto (cota x posição);

- Compensação das trocas térmicas com o meio ambiente;

10 - Entrada de dados e características do fluido como, densidade, viscosidade, compressibilidade, capacidade térmica, e outras, de acordo com as publicações API;

- Entrada de dados e características do duto como, comprimento do trecho, diâmetro externo, espessura da parede, material, coeficiente de expansão, camadas de revestimento, parâmetros térmicos, e outras;

15 - Entrada para configuração do perfil de elevações do duto (tabela: cota vertical x posição), mapeamento de válvulas de controle, bombas, etc.

20 - Entrada de dados da temperatura ambiente (perfil) ao longo do duto e respectivos parâmetros térmicos de cada trecho função do tipo de instalação (subaquática, aérea, subterrânea, etc.).

- Cálculo do perfil de velocidade acústica (propagação das ondas mecânicas) ao longo do trecho, e outras variáveis importantes para otimizar a detecção pelo método acústico; e,

25 - Ferramenta para simulação virtual de vazamentos e testes do sistema (off-line);

Os cálculos são feitos em tempo real, atualizando-se as leituras a cada amostragem de dados recebida.

O cálculo dos perfis de velocidade, temperatura e pressão fornecidos pelo CFD são devidamente corrigidos para compensação

das influências do perfil de elevação do duto (variação da cota vertical x posição), perfil de temperatura ambiente ao longo do duto, diferentes trocas térmicas ao longo do trecho, e outras interferências.

5 Todas as variáveis e parâmetros necessários às correções são informadas ao módulo por meio da IHM (interface homem máquina) do sistema.

c) Algoritmo de cálculo do empacotamento (line packing) em regime transiente

10 O cálculo do empacotamento (volume instantâneo contido no trecho monitorado) é feito com base nos perfis de velocidade, temperatura e pressão fornecidos pelo CFD (figuras 1 e 2). O cálculo do empacotamento é atualizado a cada amostra recebida, sendo utilizado como uma das entradas para o cômputo do balanço de massa no módulo correspondente.

15 Pelo fato de ser calculado com base em valores e dados estimados a partir de modelos, devido à indisponibilidade de dados reais ao longo da linha, o empacotamento é sempre sujeito à incertezas de maior magnitude e é portanto o componente mais crítico no cômputo do balanço de massa.

20 d) Algoritmo de cálculo do balanço de massa ou balanço de volume compensado

O módulo de cálculo do Balanço de massa trabalha em conjunto com os módulos de aquisição de dados, CFD e Line packing, realizando as seguintes tarefas principais:

- 25
- Cálculo do balanço de massa ou balanço de volume compensado, obtido a partir de medições mássicas ou volumétricas;
 - Saídas para interface gráfica e plotagem de assinaturas, ou gráfico de estado (Variação do empacotamento x diferença das vazões de entrada e saída)

- Disponibilizar saídas de dados e resultados dos cálculos de balanço para o módulo de geração de alarmes;

- Quantificação dos vazamentos;

- Detecção de vazamentos da ordem de ou iguais a 5% da vazão normal do duto, sem a ocorrência de alarmes falsos; e,

- Suporte às ferramentas para teste virtual do sistema com simulação de vazamentos (off-line);

e) Interface gráfica para visualização de assinaturas (evolução do line-packing x diferenças de vazão de e/s)

10 A observação do comportamento da linha pode ser feita a partir de um gráfico de estado, disponível na interface gráfica do sistema, que permite visualizar as assinaturas do duto, ou por meio de um gráfico de barras que mostra o desequilíbrio do balanço de massa (diferenças entre as vazões de entrada e saída).

15 O gráfico de estado é plotado a partir da evolução do line-packing e das diferenças de vazão de entrada e saída medidas, permitindo visualizar as assinaturas características da operação do duto. O gráfico de assinaturas facilita a interpretação das diversas situações produzidas pela operação normal da linha, facilitando a

20 rápida identificação de tendências e de situações anormais que possam ser indicativas de vazamentos, mesmo antes da emissão do alarme.

O gráfico de barras mostra as diferenças entre as vazões corrigidas de entrada e saída, totalizadas em 12 diferentes intervalos

25 de tempo, de 1 minuto a 24 horas, mudando de cor quando são ultrapassados os limiares definidos. Na figura 3, é apresentado um exemplo de implementação do gráfico de barras.

f) Módulo de Geração de alarmes

O algoritmo de geração de alarmes trabalha estritamente ligado ao módulo de balanço de massa, monitorando continuamente os desvios em relação às faixas de operação normal. O módulo
5 permite a geração automática de alarmes sempre que os desvios ultrapassarem os limiares definidos pelo usuário do sistema. Em situações de alarme este módulo também calcula a taxa do vazamento, que será usada para a quantificação do volume vazado, em conjunto com as informações de tempo do alarme e localização
10 do vazamento, provenientes do módulo acústico.

As saídas deste módulo são ainda cheçadas pelo módulo de validação de alarmes antes da emissão do alarme para o usuário.

g) Algoritmo de análise de tendências e validação de alarmes baseado em redes neurais artificiais (RNA)

15 Considerando que os sistemas acústico e de balanço de massa possuem características mutuamente complementares, a possibilidade de se fazer uma avaliação mais ampla do cenário associado à operação do duto, baseada em dados e informações provenientes dos dois sistemas, é uma vantagem única do invento,
20 não sendo propiciada por nenhuma outra tecnologia de detecção de vazamentos. Além da maior confiabilidade nas informações geradas, principalmente com relação aos alarmes, a invenção combina respostas rápidas com um conjunto mais rico de informações acerca do vazamento, sendo capaz de determinar o instante e o local em
25 que ocorreu o vazamento, o fluxo e volume totalizado de produto vazado, bem como as tendências e outras informações de processo que facilitam a tomada de decisões.

O módulo de validação de alarmes e análise de tendências emprega algoritmos especiais baseados em redes neurais

artificiais (RNA) que permitem interpretar e identificar com eficácia as situações de vazamentos dentre as variadas situações que são geradas pela operação normal do duto. Em casos de situações anormais, como as de vazamento, essa característica única do invento permite antecipar informações e alertas ao usuário, mesmo antes de serem atingidos os limiares de emissão de alarmes.

Antes de validar a emissão do alarme para o usuário, os sinais de alarme recebidos pelo módulo são checados, fazendo um cruzamento das informações oriundas dos dois sistemas e uma análise qualitativa de outras variáveis e tendências, como a do gráfico de assinaturas. Se tudo estiver coerente com uma situação de vazamento o alarme será então emitido, juntamente com todas as informações disponíveis tais como, o instante da ocorrência, localização do vazamento, taxa de vazamento e totalização do volume vazado.

Todas estas informações são disponibilizadas na IHM do sistema.

h) Interface de usuário (IHM) para monitoramento do sistema, entrada de dados, etc.

As interfaces de usuário previstas na invenção oferecem todos os recursos necessários para a fácil operação do sistema como, entrada de dados, configurações, etc, conforme abaixo:

- Janela para entrada de dados e características do fluido como, densidade, viscosidade, compressibilidade, capacidade térmica e outras informações, de acordo com as publicações API;

- Janela para entrada de dados e características do duto como, comprimento do trecho, diâmetro externo, espessura da parede, material, coeficiente de expansão, camadas de revestimento, capacidade térmica, e outras;

- Janela para configuração do perfil de elevações (altimétrico e batimétrico) do duto (tabela: cota vertical x posição);
- Janela para entrada da temperatura ambiente (perfil) ao longo do duto e parâmetros térmicos de cada trecho função do tipo de instalação (subaquática, aérea, subterrânea, etc.);
- 5 - Plotagem animada das assinaturas (Delta Vaz x Delta Lp) com os diagnósticos da rede neural;
- Tela de operação com gráfico de barras com 12 tempos de integração diferentes (de 1 minuto a 24 horas).
- 10 - Geração de históricos facilmente recuperáveis, com interface amigável;
- Tela de simulação e testes do sistema;
- Acesso controlado por senhas com diferentes níveis de usuários;
- 15 - Driver para comunicação com interface (IHM) genérica (Intouch, iFIX, etc.), via OPC;

REIVINDICAÇÕES

1 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS,

5 caracterizado por combinar a tecnologia acústica e de balanço de massa e incorporar uma rede neural artificial (RNA), que em caso de ocorrência de um vazamento, mesmo em furos preexistentes ou progressivos, propiciam a identificação e validação do alarme para declaração do mesmo na tela de operação, bem como identificam a correta localização do vazamento e quantificação

10 do volume vazado, além de antecipar informações e alertas ao usuário, mesmo antes de serem atingidos os limiares de emissão de alarmes, eliminando a ocorrência de falsos alarmes de vazamentos, cujo sistema é dotado de: sensores de pressão, instalados em pontos estratégicos ao longo do duto, que agem como sensores acústicos ou

15 sônicos; unidades remotas denominadas FPU (*Field Processing Units*); filtros analógicos e digitais; redes neurais artificiais (RNA); e, Central de Monitoramento onde as informações do sistema são combinadas e processadas, utilizando algoritmos baseados em redes neurais que, recebem alguns sinais provenientes do CFD

20 (*Computacional Fluid Dynamics*) do Sistema de Balanço de Massa para atualização, em tempo real, de alguns dados relacionados ao escoamento como, densidade do fluido, velocidade de propagação das ondas no fluido, velocidade de fluxo e coeficiente de atenuação do sinal.

25 **2 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS,** de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por utilizar informações da tecnologia Acústica e de Balanço de Massa para uma checagem cruzada, antes da tomada de decisão e emissão do alarme para o usuário.

3 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir a conexão dos sensores pertencentes ao sistema de Balanço de Massa às entradas das próprias unidades remotas do sistema acústico, transmitindo os dados através da rede local das FPU's.

4 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir o compartilhamento das funções dos sensores acústicos com o sistema de Balanço de Massa, permitindo a obtenção de pontos de medida de pressão adicionais ao longo da linha e assim propiciar o modelamento mais aproximado dos perfis pelo módulo CFD.

5 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir a simulação eletrônica de vazamentos por meio da excitação dos filtros.

6 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelos sinais que permitem os cálculos cíclicos do Balanço de Massa serem obtidos de medidores de vazão, pressão, temperatura e densidade, instalados nos extremos do trecho a ser protegido, os quais são conectados às entradas das unidades remotas do sistema acústico (FPU), transmitindo-se os dados à central através da rede de comunicação das FPU's.

7 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir o uso da instrumentação já

existente na planta do sistema acústico, obtendo-se os dados através do SCADA (Sistema de controle e aquisição de dados).

8 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a

5 reivindicação 1, caracterizado pela Central de Monitoramento ser baseada em um computador do tipo PC dotado de um driver OPCi, módulos de detecção acústica e de balanço de massa, e um sistema supervisorio que funciona como Interface Homem Máquina (IHM) para operação de todo o sistema, entrada de parâmetros.

10 **9 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS,** de acordo com a

reivindicação 1, caracterizado pelas informações e funções da IHM poderem ser replicadas para outras localidades via comunicação em OPC.

15 **10 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS,** de acordo com a

reivindicação 1, caracterizado pelo sistema de Balanço de Massa compreender essencialmente os seguintes módulos e algoritmos: a)

Módulo de aquisição e validação dos dados de entrada; b) Algoritmos

20 CFD (Computational Fluid Dynamics) para modelagem do escoamento, incluindo o regime transiente, a partir dos dados de entrada; c) Algoritmo de cálculo do empacotamento (line packing) em

regime transiente; d) Algoritmo de cálculo do Balanço de Massa ou balanço de volume compensado; e) Interface gráfica para

25 visualização de assinaturas (evolução do line-packing X diferenças de vazão de e/s); f) Módulo de Geração de alarmes; g) Algoritmo de

análise de tendências e validação de alarmes baseado em redes neurais artificiais (RNA); e, h) Interface de usuário (IHM) para

monitoramento do sistema e entrada de dados.

11 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a

reivindicação 1, caracterizado pelo Módulo de aquisição e validação dos dados de entrada apresentar ferramentas para checagem da
5 coerência dos dados e validação dos mesmos, bem como algumas rotinas de tratamento para os casos de perda parcial dos dados, dados corrompidos e valores fora de faixa.

12 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a

reivindicação 1, caracterizado pelos Algoritmos CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para modelagem do escoamento, incluindo o regime
10 transiente, a partir dos dados de entrada é executar as seguintes funções:

- Modelagem termo-fluidodinâmica (CFD) capaz de
15 reconstruir, em tempo real, os perfis transientes de pressão, temperatura e velocidade, a partir de medições pontuais de pressão, vazão e temperatura;

- Cálculo dos perfis de pressão, temperatura e velocidade em toda a extensão do trecho;

20 - Cálculo do line-packing em regime transiente com correção das influências da temperatura e da pressão no fluido e no aço, de acordo com as normas API -1149 e API - 11.1;

- Compensação da influência do perfil vertical do duto (cota x posição);

25 - Compensação das trocas térmicas com o meio ambiente;

- Entrada de dados e características do fluido como, densidade, viscosidade, compressibilidade, capacidade térmica, e outras, de acordo com as publicações API;

- Entrada de dados e características do duto como, comprimento do trecho, diâmetro externo, espessura da parede, material, coeficiente de expansão, camadas de revestimento, parâmetros térmicos, e outras;

5 - Entrada para configuração do perfil de elevações do duto (tabela: cota vertical x posição), mapeamento de válvulas de controle, bombas, etc.

- Entrada de dados da temperatura ambiente (perfil) ao longo do duto e respectivos parâmetros térmicos de cada trecho
10 função do tipo de instalação (subaquática, aérea, subterrânea, etc.).

- Cálculo do perfil de velocidade acústica (propagação das ondas mecânicas) ao longo do trecho, e outras variáveis importantes para otimizar a detecção pelo método acústico; e,

- Ferramenta para simulação virtual de vazamentos e
15 testes do sistema (off-line).

13 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com as reivindicações 1 e 12, caracterizado pelos Algoritmos CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para modelagem do escoamento,
20 incluindo o regime transiente, a partir dos dados de entrada fazer cálculos em tempo real, atualizando-se as leituras a cada amostragem de dados recebida.

14 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com
25 as reivindicações 1, 12 e 13, caracterizado pelos Algoritmos CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para modelagem do escoamento, incluindo o regime transiente, a partir dos dados de entrada é cálculo dos perfis de velocidade, temperatura e pressão fornecidos pelo CFD sendo devidamente corrigidos para compensação das influências do

perfil de elevação do duto (variação da cota vertical x posição), perfil de temperatura ambiente ao longo do duto, diferentes trocas térmicas ao longo do trecho, e outras interferências, sendo que todas as variáveis e parâmetros necessários às correções são informadas ao

5 módulo por meio da IHM (interface homem máquina) do sistema.

15 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo cálculo do empacotamento (volume instantâneo contido no trecho monitorado), ser feito com base nos

10 perfis de velocidade, temperatura e pressão fornecidos pelo CFD (figuras 1 e 2), sendo atualizado a cada amostra recebida e utilizado como uma das entradas para o cômputo do balanço de massa no módulo correspondente.

16 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com as reivindicações 1 e 15, caracterizado pelo cálculo do empacotamento ser calculado com base em valores e dados estimados a partir de modelos.

17 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo Algoritmo de cálculo do Balanço de Massa ou balanço de volume compensado, trabalhar em conjunto com os módulos de aquisição de dados, CFD e Line packing, realizando as seguintes tarefas principais:

- 25
- Cálculo do balanço de massa ou balanço de volume compensado, obtido a partir de medições mássicas ou volumétricas;
 - Saídas para interface gráfica e plotagem de assinaturas, ou gráfico de estado (Variação do empacotamento x diferença das vazões de entrada e saída);

- Disponibilizar saídas de dados e resultados dos cálculos de balanço para o módulo de geração de alarmes;

- Quantificação dos vazamentos;

- Detecção de vazamentos da ordem de ou iguais a 5% da vazão normal do duto, sem a ocorrência de alarmes falsos; e,

- Suporte às ferramentas para teste virtual do sistema com simulação de vazamentos (off-line).

17 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com

10 as reivindicações 1 e 16, caracterizado pela Interface gráfica para visualização de assinaturas (evolução do line-packing x diferenças de vazão de e/s), observar o comportamento da linha feita a partir de um gráfico de estado, disponível na interface gráfica do sistema, sendo plotado a partir da evolução do line-packing e das diferenças de
15 vazão de entrada e saída medidas, permitindo visualizar as assinaturas características da operação do duto.

18 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com

20 as reivindicações 1, 16 e 17, caracterizado pela Interface gráfica para visualização de assinaturas (evolução do line-packing x diferenças de vazão de e/s), observar o comportamento da linha feita por meio de um gráfico de barras que mostra o desequilíbrio do balanço de massa (diferenças entre as vazões de entrada e saída), mostrando as diferenças entre as vazões corrigidas de entrada e saída totalizadas
25 em 12 diferentes intervalos de tempo, de 1 minuto a 24 horas, mudando de cor quando são ultrapassados os limiares definidos.

19 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo algoritmo de geração de alarmes

trabalhar estritamente ligado ao módulo de balanço de massa, monitorando continuamente os desvios em relação às faixas de operação normal, peritindo a geração automática de alarmes sempre que os desvios ultrapassarem os limiares definidos pelo usuário do sistema.

20 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com as reivindicações 1 e 19, caracterizado pelo algoritmo de geração de alarmes calcular a taxa do vazamento, que será usada para a quantificação do volume vazado, em conjunto com as informações de tempo do alarme e localização do vazamento, provenientes do módulo acústico.

21 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com as reivindicações 1, 19 e 20, caracterizado pelas saídas do módulo de geração de alarmes serem ainda checadas pelo módulo de validação de alarmes antes da emissão do alarme para o usuário.

22 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo Algoritmo de análise de tendências e validação de alarmes baseado em redes neurais artificiais (RNA) caracterizado por determinar o instante e o local em que ocorreu o vazamento, o fluxo e volume totalizado de produto vazado, bem como as tendências e outras informações de processo que facilitam a tomada de decisões.

23 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com as reivindicações 1 e 22, caracterizado pelo Algoritmo de análise de tendências e validação de alarmes baseado em redes neurais

artificiais (RNA), antecipar informações e alertas ao usuário, mesmo antes de serem atingidos os limiares de emissão de alarmes.

24 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com

5 as reivindicações 1, 22 e 23, caracterizado pelo Algoritmo de análise de tendências e validação de alarmes baseado em redes neurais artificiais (RNA), antes de validar a emissão do alarme para o usuário, checar os sinais de alarme recebidos, fazendo um cruzamento das informações oriundas dos dois sistemas e uma análise qualitativa de
10 outras variáveis e tendências, como a do gráfico de assinaturas, sendo que todas estas informações são disponibilizadas na IHM do sistema.

25 - SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS, de acordo com a

15 reivindicação 1, caracterizado pela Interface de usuário (IHM) para monitoramento do sistema, entrada de dados, apresentar recursos necessários para a fácil operação do sistema como, entrada de dados, configurações, conforme abaixo:

20 - Janela para entrada de dados e características do fluido como, densidade, viscosidade, compressibilidade, capacidade térmica e outras informações, de acordo com as publicações API;

- Janela para entrada de dados e características do duto como, comprimento do trecho, diâmetro externo, espessura da parede, material, coeficiente de expansão, camadas de revestimento
25 e capacidade térmica;

- Janela para configuração do perfil de elevações (altimétrico e batimétrico) do duto (tabela: cota vertical x posição);

- Janela para entrada da temperatura ambiente (perfil) ao longo do duto e parâmetros térmicos de cada trecho função do tipo de instalação (subaquática, aérea e subterrânea);

5 - Plotagem animada das assinaturas (Delta Vaz x Delta Lp) com os diagnósticos da rede neural;

- Tela de operação com gráfico de barras com 12 tempos de integração diferentes (de 1 minuto a 24 horas).

- Geração de históricos facilmente recuperáveis, com interface amigável;

10 - Tela de simulação e testes do sistema;

- Acesso controlado por senhas com diferentes níveis de usuários; e,

- Driver para comunicação com interface (IHM) genérica (Intouch e iFIX), via OPC.

Figura 1

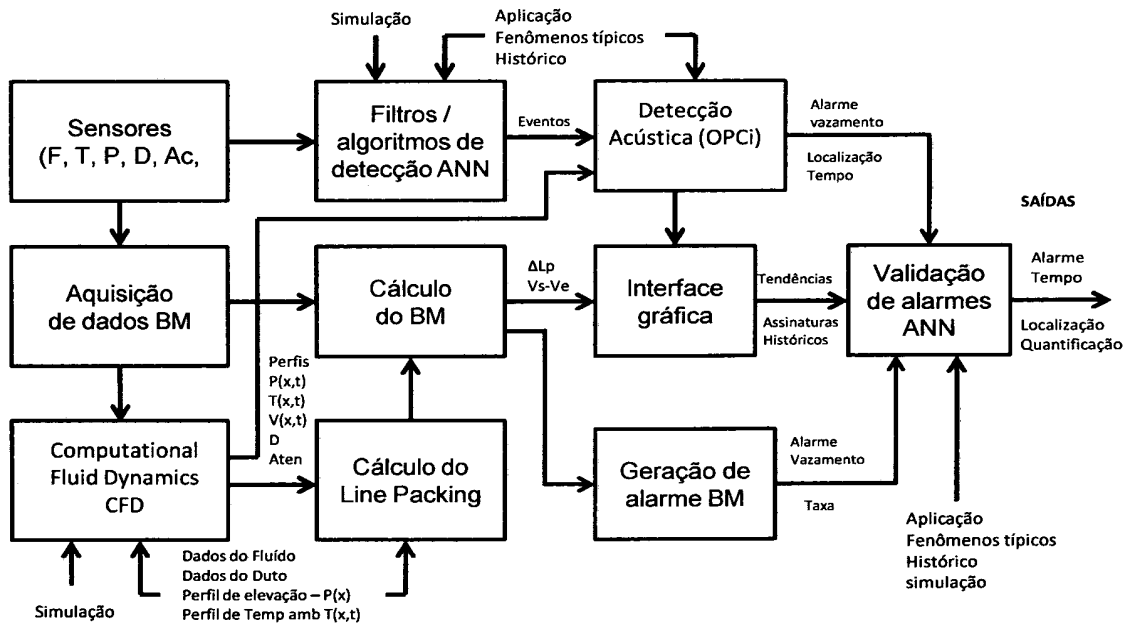


Figura 2

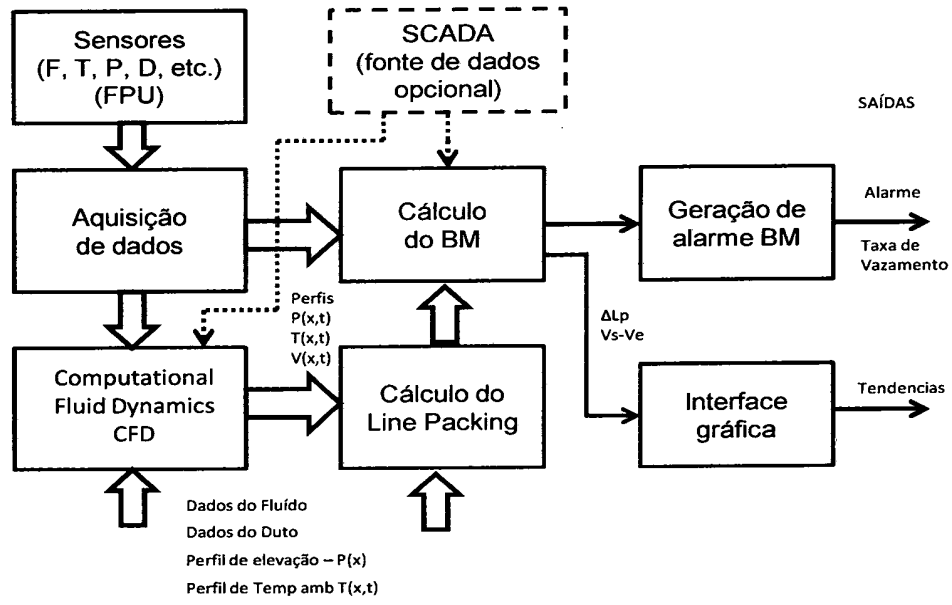
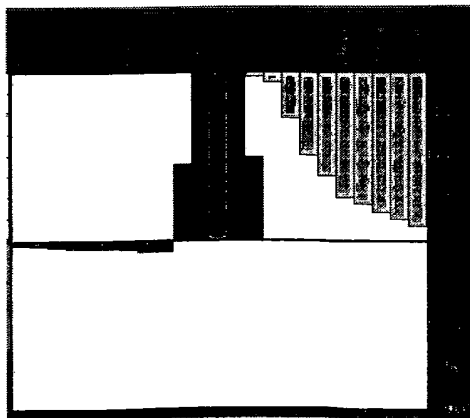


Figura 3



RESUMO**Patente de invenção: SISTEMA INTEGRADO PARA DETECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS EM DUTOS**

5 O presente invento diz respeito a um sistema integrado com as tecnologias de balanço de massa, acústica e rede neural artificial para detecção, localização e quantificação de furos ou vazamentos em dutos, cujo sistema é dotado de: sensores de pressão, instalados em pontos estratégicos ao longo do duto, que
10 agem como sensores acústicos ou sônicos; unidades remotas denominadas FPU (*Field Processing Units*); filtros analógicos e digitais; redes neurais artificiais (RNA); e, Central de Monitoramento onde as informações do sistema são combinadas e processadas, utilizando algoritmos baseados em redes neurais que, recebem
15 alguns sinais provenientes do CFD (*Computacional Fluid Dynamics*) do Sistema de Balanço de Massa para atualização, em tempo real, de alguns dados relacionados ao escoamento como, densidade do fluido, velocidade de propagação das ondas no fluido, velocidade de fluxo e coeficiente de atenuação do sinal.