



#### REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL MINISTÉRIO DA ECONOMIA INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

#### CARTA PATENTE Nº BR 102016013574-5

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: BR 102016013574-5

(22) Data do Depósito: 13/06/2016

(43) Data da Publicação Nacional: 26/12/2017

(51) Classificação Internacional: G01N 21/31.

**(54) Título:** MÉTODO E SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA

(73) Titular: FUNDACAO CPQD - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM TELECOMUNICACOES, Sociedade com intuito não econômico. CGC/CPF: 02641663000110. Endereço: RUA DR. RICARDO BENETTON MARTINS, 1000, PARQUE II DO POLO DE ALTA TECNOLOGIA, Campinas, SP, BRASIL(BR), 13086-902, Brasileira; PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, Pessoa Jurídica. CGC/CPF: 33000167000101. Endereço: AVENIDA REPÚBLICA DO CHILE, 65, CENTRO, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL(BR), 20031-912, Brasileira

(72) Inventor: CLAUDIO FLORIDIA; DANILO CESAR DINI; EDUARDO FERREIRA DA COSTA; ELIAS KENTO TOMIYAMA; FABIO RENATO BASSAN; FELIPE CEZAR SALGADO; JOÃO BATISTA ROSOLEM; JOÃO PAULO VICENTINI FRACAROLLI; JOSÉ EDUARDO VOLPONI; MARCOS ANTONIO BRANDÃO SANCHES; RIVAEL STROBEL PENZE; LARISSA MARIA PEREIRA; SUELI AKEMI HATIMONDI.

Prazo de Validade: 20 (vinte) anos contados a partir de 13/06/2016, observadas as condições legais

Expedida em: 16/11/2022

Assinado digitalmente por: Liane Elizabeth Caldeira Lage Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

mhra

# **"MÉTODO E SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA"**

## Campo de Aplicação

[001]O presente relatório descritivo refere-se a um novo método e sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica, o qual tem como objetivo principal prover um sistema e um método de detecção e reconhecimento de emissões fugitivas de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica aplicado às instalações de transporte e condicionamento de gás, tais como: refinarias, gasodutos, unidades processadoras de gás natural e outras instalações industriais onde a presença de determinados gases precisa ser monitorada tanto para verificação de impacto ambiental como da segurança de pessoas e estruturas. O método e sistema aqui propostos mais especificamente se aplica ao monitoramento de gases como o gás metano cuja necessidade de monitoração de emissões fugitivas é importante no campo da indústria petrolífera.

### Problemas a conceitos do Estado da Técnica

[002]A gestão de segurança, meio ambiente e saúde tem sido foco de atuação em diversas empresas de grande porte. Especial atenção nestes temas ocorre nas empresas do ramo do petróleo e derivados destacando-se a necessidade da implementação de mecanismos para identificar, analisar e monitorar impactos associados às emissões atmosféricas, gerar informações para buscar a contínua redução de seus efeitos e a comunicação do desempenho neste tema para as partes interessadas.

[003]É sabido que a mudança climática global tem sido fortemente influenciada pela emissão de gases de efeito estufa, particularmente as associadas à produção e utilização de energéticos e a transformação de energia. Entre os energéticos, os combustíveis fósseis, carvão, petróleo e gás natural, representam globalmente a parcela mais significativa no que diz respeito à emissão de gases.

[004]Dentre os diversos tipos de emissões oriundas de plantas industriais destacamse as chamadas "emissões fugitivas". Estas emissões são definidas como vazamentos não intencionais que ocorrem em superfícies fechadas, como válvulas, dispositivos de alívio de pressão, flanges, juntas, entre outros, devido à corrosão e/ou falhas de conexão.

[005]Os sistemas de transporte de gás natural com emissões fugitivas compostas principalmente de metano causam a redução da eficiência energética dos processos e contribuem para intensificação das mudanças climáticas, uma vez que o Metano (CH<sub>4</sub>) tem um potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub> de acordo com a *United Nations Framework Convention on Climate*. O metano pode também oferecer elevado risco à saúde ocupacional de trabalhadores devido à possível redução da concentração de oxigênio e devido a sua oxidação, o que adquire grande relevância no caso de trabalhos executados em espaços confinados. Além disso, o metano é explosivo, o que requer que a sua concentração seja mantida em níveis considerados seguros evitando problemas catastróficos de segurança de pessoas e ativos, especialmente nos casos em que é emitido de forma fugitiva, quando sua emissão tende a ser negligenciada.

[006]O monitoramento de emissões fugitivas, ou de outros tipos, permite a avaliação da eficiência dos processos industriais, otimizando os processos e o cumprimento aos requisitos legais estabelecidos pelos órgãos ambientais, quando existirem. Portanto, uma ferramenta para monitoração remota e em tempo real das emissões fugitivas do metano ao longo dos gasodutos e dentro das refinarias, traz como benefícios a gestão de emissões atmosféricas e melhoria da segurança operacional da infraestrutura de transporte de gás combustível.

[007]Por outro lado, os métodos tradicionais de monitoração de emissões fugitivas envolvem deslocamento de pessoal e equipamentos especializados in loco por grandes extensões ou grande quantidade de pontos de monitoração.

[008]Nesse sentido é desejável a monitoração remota multiponto e em tempo real.

[009]Com o desenvolvimento das comunicações ópticas, os sensores de fibra óptica de gás tornaram-se uma alternativa promissora devido às vantagens únicas, tais como imunidade eletromagnética, isolamento elétrico, baixo peso, flexibilidade, resistência, entre outras. Além disso, os sensores ópticos, de forma geral, são

2/23

apropriados não só para o monitoramento remoto, sendo possível localizá-los a vários quilômetros de distância da unidade de medição, mas também para o monitoramento de mais de uma grandeza ao mesmo tempo. A multiplexação de sinais é outra característica importante dessa tecnologia, pois oferece a possibilidade de utilização de diversos sensores ao longo de uma única fibra óptica, permitindo a construção de redes de sensores.

#### Estado da técnica

[010]Diversas técnicas de monitoração de gases baseadas em fibra óptica são propostas na literatura. As técnicas baseadas na detecção por absorção direta da luz estão entre as mais estudadas, sendo em geral realizadas por células sensoras de gás no espaço livre.

[011]Existem alguns documentos de patente e artigos científicos que descrevem técnicas, métodos e instrumentos para detecção da absorção de linhas do espectro por gases, porém nenhum desses documentos descreve a configuração e o método proposto nesta patente. Dentre esses documentos podem-se destacar os seguintes:

[012]O documento de patente US4567366A "*Method and apparatus for measuring methane concentration in gas*". Nesta invenção são descritos um método e um aparelho para medir a concentração de metano em um gás, o qual compreende a transmissão de luz em comprimentos de onda de 1,66 um ou de 1,3 um, através de uma fibra óptica nos referidos comprimentos de onda em uma célula onde um gás ambiente entra e sai para medição, dito gás que absorve a luz na referida célula de medição. Esta técnica consiste em detectar a quantidade de luz absorvida pela substância em estudo, devido a suas linhas de absorção do espectro características. [013] Na janela de baixa atenuação da fibra (800 a 1800 nm) muitas substâncias têm linhas de origem vibracional e/ou rotacional.

[014]Na técnica utilizada nesse documento de patente, o grau de absorção da luz pelas linhas de absorção do gás pode ser usado para quantificar a concentração do mesmo. Para uma luz de intensidade  $I_0$  incidente em uma célula de comprimento l contendo gás, cuja absorção coincide com seu comprimento de onda, a intensidade

da luz na saída da célula, *I*, é dada pela lei de Beer–Lambert (*F.P. Bernath,* "Spectra of Atoms and Molecules", Oxford University Press, New York, 2005.):

$$I = I_0 \exp[-\alpha lC]$$
<sup>[1]</sup>

[015]Onde  $\alpha$  é o coeficiente de absorção, proporcional à "força" da linha de absorção, e C é a concentração da amostra de gás.

A absorbância da amostra é definida por:

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \log(e) \ \alpha l C = 0.434 \ \alpha l C \qquad [2]$$

[016]A absorbância é linearmente proporcional a $\alpha$ , l e C e pode ser usada para obter a concentração C se o tamanho l e o coeficiente de absorção (substância) é conhecido.

[017]Uma típica célula de gás de espaço livre usa um par de lentes de índice gradual (lentes de GRIN) ou colimadores ópticos para expandir a luz proveniente de uma fibra óptica em um feixe e coletar a luz de volta para a fibra após esta propagar por uma distância

[018]Os artigo de H.L. Ho, J. Ju, W. Jin, "Fiber optic gas detection system for health monitoring of oil-filled transformer", in: Proc. SPIE 7503, 20th International Conference on Optical Fibre Sensors, Edinburgh, United Kingdom, 2009, Article No. 75030T; o artigo de D. Liu, S. Fu, M. Tang, "Comb Filter-Based Fiber-Optic Methane Sensor System with Mitigation of Cross Gas Sensitivity"; e o artigo de J. of Lightwave Technol., vol. 30, 19, pp. 3103-3109, 2012), descrevem estudos relacionados com técnicas e dispositivos para aumentar a sensibilidade de detecção através do aumento do caminho óptico.

[019]Outra forma conhecida para aumento da sensibilidade do sistema pode ser obtida usando-se uma variação senoidal em comprimento de onda de alta frequência de 10 a 100 kHz no sinal óptico. A interação desta onda senoidal com a linha de absorção do gás resulta em uma modulação na amplitude do sinal na mesma frequência e no dobro da frequência, deste modo usando uma detecção por meio de um lock-in os sinais de primeiro e segundo harmônicos são obtidos. Estes sinais de 1º e 2º harmônicos são proporcionais à absorção do gás, sendo possível através do processamento destes sinais, obter a concentração do gás.

[020]O documento de patente US7075653B1 "Method and apparatus for laser-based remote methane leak detection" e o artigo da literatura técnica de J. Reid and D. Labrie, "Second-harmonic detection with tunable diode lasers - Comparison of experiment and theory", Applied Physics B, Vol.26, pp 203-210, 1981, descrevem a técnica de detecção por meio de um lock-in, ou técnica da modulação do comprimento de onda e medição do segundo harmônico, já conhecida desde 1981.

[021]Esta técnica é também denominada de WMS (*Wavelength Modulation Spectroscopy*) ou espectroscopia de modulação de comprimento de onda. A resposta a este tipo de detecção tem maior sensibilidade devido ao aumento da relação sinal ruído (SNR), pois os sinais fora das frequências de modulação (ou do dobro dela) são desconsiderados.

[022]Apesar das técnicas descritas previamente permitirem a detecção de gases de forma apropriada elas são mais adequadas para uso de forma localizada e não são apropriadas para a detecção de vazamento de gases ao longo de gasodutos, por exemplo, onde diversos pontos devem ser monitorados ao longo de dezenas de quilômetros.

[023]Uma das grandes vantagens do sensoriamento por fibra óptica é a capacidade de multiplexação do sistema de modo que apenas um interrogador possa realizar medições de um grande número de sensores. Em aplicações onde diversos pontos precisam ser monitorados a redução de custo pelo uso de uma rede de sensoriamento é importante. Outra vantagem deste tipo de sistema é que a calibração é feita apenas na unidade central de controle, reduzindo custo de calibração periódica do mesmo.

[024]O artigo de J. McFadden, "Fiber Based Methane Leak Detection", Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, 6–9 May 2013, paper OTC-24176*MS*. É um exemplo de arquitetura multiplexada, neste sistema de detecção de gás metano, múltiplos pontos podem ser monitorados por meio de uma rede de sensoriamento, utilizando, porém, um par de fibras ópticas para cada sensor.

[025]O documento CN204389385U, *Distributed Optical Fiber Gas Sensor*, descreve uma solução para monitoração de gás usando apenas uma fibra óptica. Onde um sistema de sensoriamento usando os métodos já descritos anteriormente aliados ao uso da técnica OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer* / Refletômetro óptico no domínio do tempo) é proposto. Este sistema usa como sensores células de absorção de metano com espelhos refletivos em uma das extremidades. Ao longo do enlace de fibra óptica são utilizados splitters ópticos para derivar o sinal provindo de um laser sintonizável remoto. O sinal derivado pelos splitters é lançado em suas portas de saída para as células de absorção e para outros sensores de medição de pressão e temperatura. As desvantagens deste método para sua implementação é a necessidade de pelo menos dois lasers em comprimentos de onda distintos, a atenuação excessiva provocada pelos splitters ao longo do enlace de fibras que reduz o alcance do sistema e o fato de precisar usar muitos dispositivos em cada ponto de monitoração para sua implementação.

[026]Como descrito previamente os sistemas e métodos revelados no Estado da Técnica apresentam limitações e complexidades para detectar a fuga de gases e determinar sua concentração.

#### Objetivos da Invenção:

[027]No sentido de suprir as necessidades do mercado e as dificuldades encontradas no Estado da Técnica, se estudou e se concretizou o método e o sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica, objeto da presente patente, o qual tem como objetivos principais: 1) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico capaz de detectar a concentração de gases de interesse de forma remota; 2) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico capaz de detectar e localizar a concentração de gases de interesse de forma remota; 3) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico capaz de detectar, localizar e medir a concentração de gases de interesse de forma remota; 4) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico capaz de remotamente detectar, localizar e medir a concentração de gases de interesse ao longo de enlace de fibra óptica; 5) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico capaz de remotamente detectar, localizar e medir a concentração de gases de interesse ao longo do enlace de fibra óptica por meio de uma única fibra óptica; 6) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico que não necessite de calibração em seus pontos de sensoriamento remotos; 7) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico no qual a calibração da varredura espectral do gás a ser avaliado seja feita no equipamento interrogador; e 8) Prover um sistema e um método de monitoramento óptico que remova os ruídos de origens diversas no processamento de sinais tipo OTDR;

#### Descrição das Figuras

[028]A invenção será mais bem compreendida a partir da descrição detalhada e das figuras que a ela se referem, das quais:

Figura 1 ilustra a primeira concepção do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 2 ilustra a segunda concepção do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 3 ilustra a primeira concepção do equipamento interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 4 ilustra a segunda concepção do equipamento interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 5 ilustra a terceira concepção do equipamento interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 6 ilustra a primeira concepção da fonte óptica do equipamento interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 7 ilustra a segunda concepção da fonte óptica do equipamento interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 8 ilustra a terceira concepção da fonte óptica do equipamento interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 9 ilustra uma outra forma de realização do laser sintonizável da fonte óptica do equipamento interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 10 ilustra o fluxograma da concepção do método de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica.

Figura 11 ilustra o fluxograma do bloco de processamento denominado de captura de traços OTDR em diferentes comprimentos de onda.

Figura 11B ilustra dois típicos traços reais de OTDR para ilustrar o método de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica e uma das formas de concepção da fonte óptica mostrada na Figura 6.

Figura 12 ilustra o fluxograma do bloco de processamento denominado de pós-processamento dos traços OTDR.

Figura 13 ilustra um exemplo de aplicação do sub-bloco ajuste linear nos traços OTDR onde um típico traço de OTDR, da presente invenção realizada conforme a Figura 7, é processado para obtenção da atenuação no ponto de descontinuidade onde está o sensor.

Figura 14A ilustra uma porção do espectro de absorção de um dado gás de interesse e sua comparação com o esperado de acordo com o banco de dados HITRAN (*Hitran on the Web*, <u>http://hitran.iao.ru/</u>).

8/23

Figura 14B ilustra a aplicação do bloco de processamento dito método adaptativo para correção de deslocamento horizontal e vertical no espectro experimental.

Figura 14C ilustra a forma de obtenção da correção no espectro por meio do método adaptativo pelos valores de picos de absorção do gás de interesse.

Figura 14D ilustra um exemplo da aplicação real do bloco de processamento dito pós-processamento dos traços OTDR com a comparação entre dado experimental e esperado de acordo com HITRAN.

Figura 14E ilustra um exemplo da aplicação real do bloco de processamento dito pós-processamento dos traços OTDR com a comparação entre dado experimental e esperado de acordo com HITRAN quando utilizado o subbloco filtragem digital aos dados experimentais.

#### Descrição Detalhada da Invenção

[029]Em seguida descreve-se uma forma preferencial não restritiva de realização do presente método e sistema, objetos desta patente, onde a configuração e forma de aplicação podem variar na forma adequada para cada modelo ou situação de aplicação desejada; descrevendo uma das possibilidades construtivas que levam a concretizar o objeto descrito e a forma como o mesmo funciona e é utilizado.

[030]O SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, objeto da presente patente, está essencialmente formado por um equipamento interrogador de sensores (100) conectado através de cabos (110) a um meio de comunicação em rede (120) e seus usuários (130), o equipamento interrogador (100) está também conectado a cabos de fibra óptica (135) que por sua vez estão conectados a elementos passiveis de emissões fugitivas de gases (150) que compõem os gasodutos (140) por meio de elementos sensores ópticos (160), com o mesmo ainda podendo apresentar unidades ópticas de regeneração do sinal (200) ao longo do enlace de fibra óptica (135).

[031]A Figura 1 ilustra o sistema, objeto da presente patente, em uma primeira forma de realização, onde o equipamento interrogador de sensores (100) liga-se,

por meio de cabos (110), por exemplo, do tipo Ethernet à rede internet ou intranet (120) de uma empresa ou corporação e desta a diversos usuários (130) que podem acessar as informações obtidas pelo equipamento interrogador (100). O dito equipamento interrogador envia por meio de um cabo de fibra óptica (135) sinais ópticos de monitoração com a finalidade de detectar, por exemplo, vazamento de gases em gasodutos (140) ou em unidades de interesse como refinarias, unidades processadoras de gás natural, plantas industriais entre outras. Ao longo dos gasodutos, por exemplo, o dito sistema pode monitorar flanges ou válvulas (150) distribuídas por dezenas a centenas de quilômetros, por meio de elementos sensores distribuídos (160) dispostos em série em uma única fibra (135) de um cabo óptico ao longo do dito gasoduto (140). Os elementos sensores (160) podem ser dos tipos comumente usados em espectroscopia à fibra óptica e que permitam a absorção da luz pelo gás em análise tais como: células ópticas, que expandem a luz proveniente de uma fibra óptica de modo que o dito feixe óptico expandido possa interagir por um certo comprimento de onda de interação com o gás, bem como podem também ser realizados por meio de fibras especiais tais como: fibras de bandgap fotônico de núcleo oco, fibras de núcleo suspenso, fibras de cristal fotônico, entre outras técnicas conhecidas na literatura.

[032]A Figura 2 ilustra o sistema, objeto da presente patente, em uma segunda forma de realização, onde são inseridas as unidades ópticas de regeneração do sinal (200) ao longo do enlace de fibra óptica (135) com a finalidade de estender o alcance do sistema proposto.

[033]O equipamento interrogador de sensores (100) está essencialmente formado por um gerador de pulsos elétricos (300), uma fonte óptica sintonizável em comprimentos de onda (310), um circulador óptico (320) e diversos sensores ou células ópticas (160) dispostas em serie ao longo de um enlace de fibra óptica (340) em posições previamente definidas, um receptor óptico (360) e um osciloscópio ou placa processadora de sinais (370); ainda podendo apresentar um divisor óptico de potência (400) de razão disposto na saída da fonte óptica (310) com um receptor óptico (430) disposto em uma porta de saída de menor potência e

com o circulador óptico (320) disposto na outra porta de saída de maior potência do divisor óptico (400); ainda podendo apresentar uma célula de gás de referência (420) disposta na saída do circulador óptico (320); e ainda podendo apresentar uma célula de gás, ou sensor, de referência (420) disposta na saída do circulador óptico (320), com o mesmo gás a ser detectado pelos sensores (160), em série com os demais elementos sensores (160) ao longo do enlace de fibras (135), mas dentro do dito interrogador (100).

[034]A Figura 3 ilustra a primeira concepção do equipamento interrogador (100) previamente mostrado nas Figuras 1 e 2. Onde no dito equipamento interrogador (100) um gerador de pulsos elétricos (300) atua sobre uma fonte óptica sintonizável em comprimentos de onda (310) preferencialmente opera na faixa de 1666 +/- 3 nm, 1645 +/- 3 nm e/ou 1652 +/- 3 nm, e que gera pulsos ópticos (315) que são enviados por meio de um circulador óptico (320) a diversos elementos sensores ou células ópticas (160) dispostas em série ao longo de um enlace de fibra óptica (340) e posicionadas em pontos escolhidos previamente. O sinal retroespalhado do tipo *Rayleigh* (350) retorna pela mesma fibra e é redirecionado pelo circulador (340) até um receptor óptico (360) e a um osciloscópio ou placa processadora de sinais (370) onde o dito sinal (350) é tratado e visualizado como um típico sinal de OTDR.

[035]Como mostra a Figura 3 na ausência de gás nos sensores (160), o logaritmo da intensidade de sinal (350) observado na placa processadora (370), tem o comportamento de decaimento linear (380) em função da distância ao longo da fibra óptica. Os degraus (330) observados nesta curva (380) correspondem aos pontos onde há elementos sensores ou células ópticas (160). Cada degrau devese à típica perda de inserção da luz dentro do dito sensor (160) devido à expansão do feixe para o espaço livre antes da convergência novamente para a fibra.

[036]Quando da presença de um gás dentro dos sensores (160) uma atenuação adicional é observada, conforme a curva (385) na Figura 3, desde que a fonte óptica (310) emita no comprimento de onda coincidente com uma linha de absorção do dito gás. Deste modo, o sistema permite identificar vazamento de gás

e identificar em qual elemento sensor ou distância (390) em que o dito vazamento ocorre ao longo da fibra dado que a placa processadora (370) tem esta funcionalidade. No caso de aplicação em gasoduto pode-se, deste modo, identificar a concentração de gás usando múltiplos sensores (160) por uma única fibra óptica (135).

[037]A Figura 4 ilustra a segunda concepção do dito equipamento interrogador (100), onde na saída da fonte óptica (310) é inserido um divisor óptico de potência (400) de razão, por exemplo 1/99%, que em uma de suas portas de saída de menor potência, redireciona parte do sinal (410) para uma célula óptica com gás de referência (420), e da saída desta célula para um receptor óptico (430). A outra porta de saída do divisor óptico (400), de maior potência, é ligada ao circulador óptico (320). O sinal elétrico (440) resultante na saída do dito receptor óptico (430) é analisado pela placa processadora (370) que usa o dito sinal elétrico (440) como referência para controlar a fonte óptica (310) por meio do sinal (375) de modo a garantir que o comprimento de onda da fonte óptica (310) seja coincidente com as linhas de absorção do gás em análise nos sensores (160), dito gás que é o mesmo do gás usado na célula de referência (420). O dito sinal (440) terá o seu menor valor quando a fonte óptica estiver sintonizada no comprimento de onda de absorção do gás analisado.

[038]A Figura 5 ilustra a terceira concepção do dito equipamento interrogador (100), onde na saída do circulador óptico (320) é inserida uma célula de gás de referência (420), com o mesmo gás a ser detectado pelos sensores (160), em série com os demais elementos sensores (160) ao longo do enlace de fibras (135), mas dentro do dito interrogador (100). O sinal de realimentação é obtido pelo próprio traço registrado na placa processadora (370). É possível neste, caso verificar à posteriori a varredura espectral do laser analisando-se a atenuação no enlace óptico (135) causada por este sensor de referência (420).

[039]A fonte óptica (310) está constituída preferencialmente de um laser sintonizável (510) do tipo DFB (*Distributed Feedback*) alimentado por um sinal elétrico pulsado (500), que por sua vez possui os elementos: chip laser (511), chip

fotodetector (512), resfriador termoelétrico (*Thermoelectric cooler* – TEC) (513) do laser e termistor (514) que mede a temperatura do laser; com a mesma ainda podendo apresentar um amplificador óptico semicondutor SOA (600) estreitando a largura de linha de emissão do laser; e ainda podendo apresentar um modulador de fase óptico (800) disposto na saída do laser (510) alargando a linha espectral do laser (510) e evitando o ruído óptico, através do envio de um sinal elétrico modulado de forma senoidal com frequência da ordem do alargamento desejado, para a entrada (810) do modulador de fase óptico (800).

[040] A Figura 6 ilustra uma primeira concepção da fonte óptica (310). A fonte óptica (310) constituída preferencialmente de um laser (510) do tipo DFB (Distributed Feedback) que por sua vez possui os elementos: chip laser (511), chip fotodetector (512), resfriador termoelétrico (Thermoelectric cooler - TEC) (513) do laser e termistor (514) que mede a temperatura do laser. Dito laser DFB recebe um sinal elétrico pulsado (500) em seus terminais de alimentação e gera em sua fibra óptica, de saída óptica, um sinal óptico sinal pulsado (520). O dito sinal de saída (520) é também sintonizado em comprimentos de onda distintos através da ação no elemento TEC (513) que esfria ou esquenta o chip laser (511) sob a ação de um sinal de controle (540) proveniente da placa de processamento (370). O controle de temperatura que gera a corrente de controle (540) é efetuado por meio da análise do sinal (560) de um termistor (514) que se encontra instalado dentro do laser (510). Pelo ajuste da corrente de controle do TEC (540) é possível fazer o sinal óptico pulsado (520) enviado ao enlace variar seu comprimento de onda (574) de forma a fazer uma varredura espectral e deste modo caracterizar o espectro de absorção e reconhecer o gás detectado.

[041]A Figura 7 ilustra uma segunda concepção da fonte óptica (310). Nesta configuração um amplificador óptico semicondutor SOA (600) recebe em seus terminais elétricos um sinal elétrico pulsado (315), fazendo pulsar na mesma proporção o sinal óptico de saída (520) do SOA (600), dito sinal (520) que é uma forma amplificada do sinal na entrada (521) injetado na entrada do SOA (600) e proveniente um laser (510) preferencialmente DFB que é operado no modo dito

CW (*Continuous Wave*). O dito sinal de saída (520) é também sintonizado em comprimentos de onda distintos através da ação de um elemento TEC (513) que esfria ou esquenta o dito laser (510) sob a ação de um sinal de controle (540) proveniente da placa de processamento (370). O controle de temperatura que gera a corrente de controle (540) é efetuado por meio da análise do sinal (560) de um termistor (514) que se encontra instalado dentro da fonte óptica (310). Pelo ajuste da corrente de controle do TEC (540) é possível fazer o sinal óptico pulsado (520) enviado ao enlace variar seu comprimento de onda (574) de forma a fazer uma varredura espectral e deste modo caracterizar o espectro de absorção e reconhecer o gás detectado. Nesta concepção de fonte óptica a largura de linha de laser é preservada mais fina do que na concepção da Figura 6, o que permite que gases com espectros de absorção mais estreitos sejam detectados.

[042] A Figura 8 ilustra uma terceira concepção da fonte óptica (310), que também utiliza laser DFB e SOA (600). Nesta configuração um amplificador óptico semicondutor SOA (600) recebe em seus terminais elétricos um sinal elétrico pulsado (315), fazendo pulsar na mesma proporção o sinal óptico de saída (520) do SOA (600), dito sinal (520) que é uma forma amplificada do sinal na entrada (521) injetado na entrada do SOA (600) e proveniente um laser (510) preferencialmente DFB que é operado no modo dito CW. A modificação em relação à configuração detalhada na Figura 7 consiste no fato que a saída do laser (510) passa por um modulador de fase óptico (800) capaz de alargar a linha espectral do laser (510) a fim de evitar o ruído óptico originado da interferência entre os sinais retroespalhados, dito alargamento espectral do laser reduz a coerência do sinal óptico enviado para a fibra óptica e também reduz o chamado "comprimento de coerência", comprimento no qual ocorre interferência entre sinais retroespalhados pelo efeito Rayleigh, uma das causas de ruído no traço tipo OTDR capturado pelo sistema. Para realizar este objetivo é enviado para a entrada (810) do modulador de fase óptico (800), um sinal elétrico modulado de forma senoidal com frequência da ordem do alargamento desejado, por exemplo, da ordem de MHz.

[043]O laser sintonizável (510) pode ser substituído por uma multiplicidade de lasers sintonizáveis de comprimentos de onda central distintos ((910), (915),...,(920)), cuja saída é feita por uma chave óptica (925) obtendo uma multiplicidade de comprimentos de onda enviados um por vez aos elementos do equipamento interrogador (100) e ao enlace (520).

[044]A Figura 9 ilustra uma outra forma de realização do laser sintonizável (510) na qual ao invés do uso de apenas um de laser sintonizável (510) são usados uma multiplicidade de lasers sintonizáveis de comprimentos de onda central distintos (910), (915),...,(920) e cuja saída é feita por uma chave óptica (925) permitindo que uma multiplicidade de comprimentos de onda sejam enviados um por vez aos demais elementos do equipamento interrogador (100) e ao enlace (520) conforme uma das realizações já mencionas nas Figuras 6, 7, e 8. Os comprimentos de onda dos ditos lasers do arranjo seletor de laser podem ser escolhidos para atender uma ampla gama de espectros de absorção de diversas substâncias, desse modo permitindo analisar uma multiplicidade de gases por um único sistema.

[045]O método de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica, objeto da presente patente, consiste essencialmente das seguintes etapas:

[046]Etapa 1000 de definição de uma faixa espectral de varredura da fonte óptica (310) pelo usuário.

[047]Etapa 1010 de atribuição do comprimento de onda de emissão do laser (510) para um determinado instante da varredura espectral, utilizado para obtenção de um traço tipo OTDR, igualando-o ao comprimento de onda inicial

[048]Etapa 1020 de comparação entre os comprimentos de onda inicial e final, quando do comprimento de onda final ser inferior ao inicial, executa-se a etapa 1030, quando do comprimento de onda final ser maior que o inicial executa-se a etapa 1040.

[049]Etapa 1030 de obtenção do comprimento de onda atual pelo bloco de processamento de captura de traços OTDR em diferentes comprimentos de onda (1030) onde o traço OTDR é obtido.

[050]Etapa 1040 onde executa-se o bloco denominado pós-processamento dos traços OTDR e se conclui a varredura espectral.

[051]E tapa 1050 onde após a realização da etapa 1040 executa-se o bloco denominado fim (1050) interrompendo a execução do procedimento.

[052]A Figura 10 ilustra o fluxograma do método de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica, objeto da presente patente. Onde no primeiro passo (1000) do dito método é definida pelo usuário uma faixa espectral de varredura da fonte óptica (310) que vai de um comprimento de onda inicial ( $\lambda_{inicial}$ ) a um comprimento de onda final ( $\lambda_{final}$ ) e um passo de varredura espectral dito  $\Delta\lambda$ .

[053]Na etapa seguinte (1010) é atribuída a variável dita comprimento de onda atual ( $\lambda_i$ ) que é o comprimento de onda em que o laser (510) assumirá em um determinado instante da varredura espectral e será usado para obtenção de um traço tipo OTDR, é igualado ao comprimento de onda inicial ( $\lambda_{inicial}$ ).

[054]Na etapa seguinte (1020) verifica-se se  $\lambda_i$  é inferior a  $\lambda_{final}$ . Em caso afirmativo é executado o bloco de processamento denominado de captura de traços OTDR em diferentes comprimentos de onda (1030) onde o traço OTDR correspondente ao comprimento de onda atual  $\lambda_i$  é adquirido.

[055]Em caso negativo, isto é, no caso em que  $\lambda_i$  supera em valor do  $\lambda_{final}$ , a varredura espectral está concluída e é executado o bloco denominado pósprocessamento dos traços OTDR (1040).

[056]Após a realização do bloco (1040) o procedimento executa o bloco denominado fim (1050) que interrompe a execução do processamento.

[057]A captura de traços OTDR em diferentes comprimentos de onda (1030) é realizada essencialmente em dez blocos processadores da seguinte maneira:

[058]Bloco 1100 onde Inicialmente é atribuído o valor do comprimento de onda atual obtido da etapa 1020; Bloco 1105 onde realiza-se a conversão do valor do comprimento de onda inicial para uma dada tensão no termistor (560), mediante calibração providenciada antes do início do processo na Etapa 1000; Bloco 1110 de medição e comparação da tensão (560) do termistor com a tensão definida em

1105, caso as tensões não coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1115), caso as tensões coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1125); Bloco 1115 onde calcula-se um novo valor do sinal (540) por meio de um controle PI (Proporcional-Integral); Bloco 1120 de alteração da tensão (560) do termistor atuando no sinal do TEC (540), onde em seguida o processamento retorna ao bloco (1110), caso as tensões (560) do termistor e a tensão estabelecida coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1125); Bloco 1125 onde o processamento inicia a captura do sinal de retroespalhamento Rayleigh na placa processadora de sinais (370); Bloco (1130) de geração do traço OTDR expresso em termos de atenuação versus distância; bloco (1135) DE armazenamento em base de dados do traço de OTDR para o comprimento de onda atual; Bloco (1140) onde incrementa-se o comprimento de onda; e Bloco (1145) de encerramento da etapa 1030 retornando à etapa 1020, repetido os comprimentos e onda inicial e final um a um.

[059]Assim, conforme acima, o bloco (1030) atua nos diversos elementos dos sistemas descritos nas Figuras 3 a 9. O bloco de processamento (1030) segue o fluxograma ilustrado na Figura 11 sendo iniciado em (1100). Neste bloco é atribuindo o valor do comprimento de onda atual ( $\lambda_i$ ) do bloco de processamento (1020) da Figura 10.

[060]Na etapa seguinte do processamento (1105) do bloco (1030) é realizada a conversão do valor de ( $\lambda_i$ ) para uma dada tensão no termistor V<sub>th</sub> (560), mediante calibração que deve ser providenciada antes do início do processo (1000). Esta tensão (560) é a tensão que deve ser atingida pelo termistor (514) para que o comprimento de onda  $\lambda_i$  seja emitido pelo laser (511).

[061]No próximo bloco (1110) a tensão (560) do termistor é medida e comparada com a tensão  $V_{th}$ . Caso estas tensões não coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1115).

[062]Caso estas tensões coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1125).

[063]O bloco (1115) calcula um novo valor do sinal (540) por meio de um controle PI (Proporcional-Integral).

[064]O bloco (1120) atua no sinal do TEC (540) de modo a alterar a tensão (560) do termistor. Em seguida o processamento retorna ao bloco (1110).

[065]Caso as tensões (560) do termistor e a tensão  $V_{th}$  coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1125).

[066]No bloco (1125) o processamento inicia a captura do sinal de retroespalhamento Rayleigh na placa processadora de sinais (370).

[067]No bloco (1130) é gerado o traço OTDR expresso em termos de atenuação versus distância conforme conhecido no estado da arte.

[068]No bloco (1135) o dito traço de OTDR para o comprimento de onda atual ( $\lambda_i$ ) é armazenado em uma base dados.

[069]No bloco (1140) incrementa-se  $\Delta\lambda$  no valor de  $\lambda_i$ .

[070] No bloco (1145) e encerra-se esta fase do processamento, saindo deste subbloco (1145) e retornando-se ao bloco (1020) da Figura 10. Este bloco de processamento (1030) é repetido de um  $\lambda_{inicial}$  a um  $\lambda_{final}$ .

[071]Na Figura 11B, são mostrados dois típicos traços reais de OTDR para ilustrar o dito método e uma das formas de concepção mostrada na Figura 6 da fonte óptica (310) do interrogador do sistema de detecção e reconhecimento de gases. Na dita Figura 11B o traço de OTDR (1165) corresponde ao caso em que o comprimento de onda não coincide com o pico de absorção do gás metano (1165) e no caso em que o comprimento de onda coincide com o pico de absorção do gás metano (1170), para um sensor localizado a 8,5 km de distância do dito elemento interrogador (100) da Figura 1.

[072]O pós-processamento dos traços OTDR (1040) é realizado essencialmente em treze blocos processadores da seguinte maneira: Bloco 1200 onde atribui-se os valores dos comprimentos de onda inicial, final e o incremento; Bloco 1205 onde executa-se o conjunto de passos denominados ajuste linear dos traços de OTDR; Bloco 1210 de leitura do traço de OTDR previamente armazenado em uma base dados correspondente ao comprimento de onda inicial; Bloco 1215 de identificação

dos pontos de descontinuidade presentes no traço OTDR; Bloco 1220 onde aplicase um ajuste de melhor reta entre as descontinuidades do traço de OTDR; Bloco 1225 onde determinam-se as atenuações nos pontos de descontinuidades relativos ao traço de OTDR correspondente ao comprimento de onda inicial; Bloco 1230 onde armazenam-se as atenuações obtidas no bloco (1225) em um vetor; Bloco 1235 de verificação se este traço de OTDR processado é ou não o último traço de OTDR correspondente ao comprimento de onde final, em caso negativo é realizado o bloco (1240) e em caso positivo executa-se o bloco do método adaptativo (1245); Bloco 1240 onde incrementa-se o comprimento de onde inicial e realiza-se a leitura do traço de OTDR previamente armazenado do comprimento de onde inicial, e o processo retorna ao bloco (1215) até que todos os traços de OTDR de todos os comprimentos de ondas sejam processados; Bloco 1245 onde realiza-se a leitura do espectro de atenuação de referência da substância desejada obtendo os dados no bloco 1250 e aplicando-se o método adaptativo nas atenuações capturadas no bloco 1255; Bloco 1260 onde aplica-se a filtragem digital a critério do operador no bloco 1265; Bloco 1270 onde externam-se as atenuações ópticas em função do comprimento de onda obtidas, resultando na curva espectral de absorção; Bloco (1275) onde encerra-se o processo retornando ao bloco (1050).

[073]O bloco denominado pós-processamento dos traços OTDR (1040) segue o fluxograma apresentado na Figura 12. O processo começa em (1200) onde são atribuídos os valores de  $\Delta\lambda$ ,  $\lambda_{inicial}$  e  $\lambda_{final}$  obtidos do passo (1000). Ao  $\lambda_i$  é atribuído o valor  $\lambda_{inicial}$ .

[074]Em seguida é executado o conjunto de passos denominados ajuste linear dos traços de OTDR (1205) que correspondem a um sub-bloco incluído no bloco (1040).

[075]No passo (1210) do sub-bloco (1205) é lido o traço de OTDR previamente armazenado em uma base dados correspondente ao  $\lambda_i$ .

[076]No passo (1215) do sub-bloco (1205) os pontos de descontinuidade presentes no traço OTDR são identificados. Ditos pontos de descontinuidade correspondem

às posições dos sensores ópticos. As descontinuidades são determinadas por meio da análise da derivada do traço.

[077]No passo (1220) do sub-bloco (1205) é aplicado um ajuste de melhor reta entre as descontinuidades do traço de OTDR.

[078]No passo (1225) do sub-bloco (1205) são determinadas as atenuações nos pontos de descontinuidades relativos ao traço de OTDR correspondente ao  $\lambda_i$ .

[079]No passo (1230) do sub-bloco (1205) as atenuações obtidas no passo (1225) são armazenadas em um vetor.

[080]No passo (1235) do sub-bloco (1205) é verificado se este traço de OTDR processado é ou não o último traço de OTDR correspondente ao  $\lambda_{final}$ . Em caso negativo é realizado o passo (1240) e em caso positivo executa-se o sub-bloco denominado método adaptativo (1245).

[081]No passo (1240) do sub-bloco (1205) o  $\lambda_i$  é incrementado de Äë e lido o traço de OTDR previamente armazenado em uma base dados correspondente a este novo valor de  $\lambda_i$ . O processo retorna então ao bloco (1215) até que todos os traços de OTDR de todos os comprimentos de ondas sejam processados.

[082]Como exemplo de aplicação do sub-bloco (1205) a Figura 13 mostra um típico traço de OTDR da presente invenção realizada conforme a Figura 7.

[083]Nesta Figura 13 o traço de OTDR (1300) é analisado para detecção dos pontos de descontinuidade. No caso deste exemplo apenas uma descontinuidade é detectada que corresponde à presença de um sensor e o ajuste linear é realizado em dois segmentos do traço OTDR resultando no ajuste (1310) entre 200 m e 3800 m e no ajuste (1320) de 4200 m a 11800 m, com estes ajustes lineares é determinado com maior precisão a atenuação (1330) e, portanto, a concentração do gás em análise.

[084]No passo (1250) do sub-bloco (1245) é lido o espectro de atenuação de referência da substância desejada cujos dados são obtidos, por exemplo, do banco de dados HITRAN (*Hitran on the Web, http://hitran.iao.ru/*).

[085]No passo (1255) do sub-bloco (1245) é aplicado o método adaptativo nas atenuações capturadas. O método adaptativo é mais bem entendido com base nas

Figuras 14A a 14C A Figura 14A ilustra uma porção do espectro de absorção de um dado gás de interesse. A curva (1400) corresponde ao espectro conforme, por exemplo, banco de dados HITRAN (*Hitran on the Web, http://hitran.iao.ru/*), sendo o resultado esperado de absorção. A curva experimental obtida pela técnica da presente invenção (1410) apresenta, em geral um pequeno desvio em comprimento de onda na localização dos picos espectrais de absorção. Ditos desvios originados por erros residuais de sintonia do laser. Enquanto o resultado esperado conforme HITRAN tem picos nos comprimentos de onda indicados por (1420), os picos obtidos por meio da técnica da presente invenção estão localizados em (1430). Para que os picos coincidam em comprimento de onda, um deslocamento ou correção de comprimento de onda,  $\Delta\lambda_{corr}$ , (1440) é aplicado aos dados experimentais. [01

[086]Ditos valores de picos experimentais para correção de comprimento de onda são obtidos, por exemplo, da célula de referência (420) conforme modos de realização expostos nas Figuras 4 e 5 da presente invenção.

[087] Além do deslocamento (1440) é aplicada uma correção (1445) para deslocar verticalmente a curva de absorção, fazendo com que a atenuação em comprimento de onda sem absorção seja nula. A correção é obtida calculando-se a média de atenuações (1330) em região fora da banda de absorção, por exemplo, para comprimentos de onda menores que o primeiro pico. Deste modo o método não necessita de calibração.

[088]O resultado da aplicação do passo (1255) é mostrado na Figura 14B onde a curva de absorção esperada (1400) e medida (1410) estão alinhadas e as posições dos picos (1420) e (1430) apresentam seus comprimentos de onda coincidentes (1420) e (1430). O valor de absorção no pico experimental corresponde à concentração do gás analisado, conforme Lei de Beer-Lambert. Dito método adaptativo consiste, portanto, em usar os diversos picos de referência obtidos do banco de dados HITRAN ou previamente registrados, conforme ilustrado na Figura 14C, a saber:  $\lambda_{R1}$ ,  $\lambda_{R2}$ ,  $\lambda_{R3,...,}\lambda_{Rn}$ , e os comprimentos de onda dos picos de absorção experimentais, a saber:  $\lambda_{M1}$ ,  $\lambda_{M2}$ ,  $\lambda_{M3,...,}\lambda_{Mn}$ , e por meio de algoritmo

matemático (1450), por exemplo, mínimos quadrados, obter um valor de deslocamento em comprimento de onda que faça ambos os conjuntos de dados coincidir com o menor erro possível. Dito deslocamento,  $\Delta\lambda_{corr}$ , é o fator de correção do método adaptativo (1255) da Figura 12. No caso em que não são detectados picos de absorção experimentais na mesma quantidade de picos de absorção experimentais (1430) que os picos do banco de dados HITRAN (1420) o sensor neste ponto não detectou a substância esperada.

[089]Ao final do sub-bloco (1245) do bloco (1040) pode-se ou não aplicar o subbloco denominado filtragem digital (1260) a critério do operador. No passo (1265) deste sub-bloco (1260) são aplicados filtros digitais nos espectros coletados a fim de obter suavização de curva da curva de espectro experimental. O filtro digital pode ser o filtro Savitzky–Golay ou outro empregado no estado da arte.

[090]No passo (1270) do bloco (1040) as atenuações ópticas em função do comprimento de onda obtidas ou curva espectral de absorção são externadas.

[091]No passo (1275) do bloco (1040) o processo é encerrado e retorna ao bloco (1050).

[092]A Figura 14D apresenta um exemplo da aplicação real do bloco de processamento (1040). É mostrado o espectro esperado proveniente do banco de dados HITRAN (*Hitran on the Web, http://hitran.iao.ru/*) para uma célula óptica de 5 cm de comprimento contendo metano à pressão de 50 torr (1460) e a curva experimental (1470) obtida. A presente invenção permite detectar a característica espectral da substância analisada, mesmo para picos de absorção separados por cerca de 30 pm. Além da característica espectral a invenção permite reproduzir o nível de absorção relacionado pela já mencionada lei de Beer-Lambert com a presente invenção de gás metano presente. Em outras palavras o sistema proposto na presente invenção permite identificar a substância pela característica espectral e quantificar a concentração da mesma pelo nível de absorção. Na Figura 14D o sub-bloco filtragem digital (1260) não foi aplicado aos dados.

[093]A Figura 14E apresenta o caso em que o sub-bloco filtragem digital (1260) é aplicado aos dados espectrais. É mostrado o espectro esperado proveniente do

banco de dados HITRAN (*Hitran on the Web, http://hitran.iao.ru/*) para uma célula óptica de 5 cm de comprimento contendo metano à pressão de 50 torr (1460) e a curva experimental (1480) obtida.

[094]Embora a invenção tenha sido descrita em conexão com certas modalidades preferenciais de realização, deve ser entendido que não se pretende limitar a invenção àquelas modalidades particulares. Ao contrário, pretende-se cobrir todas as alternativas, modificações e equivalentes possíveis dentro do espírito e do escopo da invenção.

[095]Desta forma, o método e o sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica, objeto da presente patente, conforme descritos acima, apresentam uma configuração e funcionamento novos e únicos que lhe configuram grandes vantagens em relação aos sistemas atualmente utilizados e encontrados no mercado na mesma aplicação. Dentre essas vantagens podem-se citar: o fato de ser um sistema com imunidade eletromagnética, isolamento elétrico, baixo peso, flexibilidade, resistência, entre outras; o fato da utilização de sensores ópticos serem apropriados não só para monitoramento remoto, como também poderem ser localizá-los a vários quilômetros de distância da unidade de medição, e poderem ser utilizados também para o monitoramento de mais de uma grandeza ao mesmo tempo; e o fato de ser um sensoriamento por fibra óptica com capacidade de multiplexação do sistema de modo que apenas um interrogador possa realizar medições de um grande número de sensores.

[096]Assim, pelas características de configuração e funcionamento, acima descritas, pode-se notar claramente que o MÉTODO E SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, trata-se de um sistema e seu método de funcionamento novo para o Estado da Técnica o qual reveste-se de condições de inovação, atividade inventiva e industrialização inéditas, que o fazem merecer o Privilégio de Patente de Invenção.

# REIVINDICAÇÕES

1 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema** de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica, **caracterizado por** estar formado por um equipamento interrogador de sensores (100) conectado através de cabos (110) a um meio de comunicação em rede (120) e seus usuários (130), o equipamento interrogador (100) está também conectado a cabos de fibra óptica (135) que por sua vez estão conectados a elementos passiveis de emissões fugitivas de gases (150) que compõem os gasodutos (140) por meio de elementos sensores ópticos (160); com o mesmo ainda podendo apresentar unidades ópticas de regeneração do sinal (200) ao longo do enlace de fibra óptica (135); o equipamento interrogador de sensores (100) está formado por:

- um gerador de pulsos elétricos (300);

- uma fonte óptica sintonizável em comprimentos de onda (310);

- um circulador óptico (320);

 - um receptor óptico (360) e um osciloscópio ou placa processadora de sinais, para os quais é redirecionado o sinal retro espalhado do tipo Rayleigh (350) que retorna pela fibra óptica;

 diversos sensores ou células ópticas (160) dispostas em serie ao longo de um enlace de fibra óptica (340) em posições previamente definidas;

- o interrogador de sensores (100), quando da presença de um gás dentro dos sensores (160) detecta uma atenuação adicional gerando um novo traço tipo OTDR (385) quando a fonte óptica (310) emitir no comprimento de onda coincidente com uma linha de absorção do dito gás, permitindo identificar o vazamento de gás e em qual elemento sensor e distância (390) o dito vazamento ocorre e em adição permitir determinar a concentração de gás quando do uso de múltiplos sensores (160) por uma única fibra óptica (135).

2 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** equipamento interrogador de sensores (100) ainda poder apresentar um divisor óptico de potência (400), disposto na saída da fonte óptica (310) com um receptor óptico (430) disposto em uma porta de saída de menor potência e o circulador óptico (320) disposto na outra porta de maior potência de saída do divisor óptico (400).

3 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema**, de acordo com a reivindicação 1 e 2, **caracterizado por** equipamento interrogador de sensores (100) ainda poder apresentar uma célula de gás de referência (420) disposta na saída do circulador óptico (320).

4 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema**, de acordo com a reivindicação 1, 2 e 3, **caracterizado por** equipamento interrogador de sensores (100) ainda poder apresentar uma célula de gás, ou sensor, de referência (420) disposta na saída do circulador óptico (320), com o mesmo gás a ser detectado pelos sensores (160), em série com os demais elementos sensores (160) ao longo do enlace de fibras (135), mas dentro do dito interrogador (100).

5 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema**, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** fonte óptica (310) estar constituída de um laser sintonizável (510) do tipo DFB alimentado por um sinal elétrico pulsado (500), que por sua vez possui os elementos: chip laser (511), chip fotodetector (512), resfriador termoelétrico (TEC) (513) do laser e termistor (514) que mede a temperatura do laser.

6 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema**, de acordo com a reivindicação 1 e 4, **caracterizado por** fonte óptica (310) ainda poder apresentar um amplificador óptico semicondutor SOA (600) impedindo o alargamento excessivo da linha de emissão do laser.

7 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema**, de acordo com a reivindicação 1, 6 e 5, **caracterizado por** fonte óptica (310) ainda poder apresentar um modulador de fase óptico (800) disposto na saída do laser (510) alargando a linha espectral do laser (510) e evitando o ruído óptico, através do envio de um sinal elétrico modulado de forma senoidal com frequência da ordem do alargamento desejado, para a entrada (810) do modulador de fase óptico (800).

8 - SISTEMA DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **sistema**, de acordo com a reivindicação 1, 4, 5 e 6, **caracterizado por** laser sintonizável (510) poder ser substituído por uma multiplicidade de lasers sintonizáveis de comprimentos de onda central distintos ((910), (915),(920)),cuja saída é feita por uma chave óptica (925) obtendo uma multiplicidade de comprimentos de onda enviados um por vez aos elementos do equipamento interrogador (100) e ao enlace (520).

9 - MÉTODO DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL utilizando o sistema de detecção e reconhecimento de gases de forma remota e em tempo real utilizando fibra óptica, conforme definido na reivindicação 1, caracterizado por esse método consistir das seguintes etapas de: Etapa 1000 de definição de uma faixa espectral de varredura da fonte óptica (310) pelo usuário; Etapa (1010) de atribuição do comprimento de onda de emissão do laser (510) para um determinado instante da varredura espectral, utilizado para obtenção de um traço tipo OTDR, igualando-o ao comprimento de onda inicial; Etapa (1020) de comparação entre os comprimentos de onda inicial e final, quando do comprimento de onda final ser inferior ao inicial, executa-se a Etapa (1030), quando do comprimento de onda final ser maior que o inicial executa-se a Etapa (1040); Etapa (1030) de obtenção do comprimento de onda atual pelo bloco de processamento de captura de traços OTDR em diferentes comprimentos de onda (1030) onde o traço OTDR é obtido; Etapa (1040) onde executase o bloco denominado pós-processamento dos traços OTDR e se conclui a varredura espectral; e Etapa (1050) onde após a realização da Etapa (1040) executa-se o bloco denominado fim (1050) interrompendo a execução do procedimento.

10 - MÉTODO DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **método**, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado por** captura de traços OTDR em diferentes comprimentos de onda (1030) ser realizada em dez blocos de processamento ou blocos lógicos da seguinte maneira: Bloco (1100) onde Inicialmente é atribuído o valor do comprimento de onda atual obtido da etapa (1020); Bloco (1105) onde realiza-se a conversão do valor do comprimento de onda inicial para uma dada tensão no termistor (560), mediante calibração providenciada antes do início do processo na Etapa (1000); Bloco (1110) de medição e comparação da tensão (560) do termistor com a tensão definida em (1105), caso as tensões não coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1115), caso as tensões coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1125); Bloco (1115) onde calcula-se um novo valor do sinal (540) por meio de um controle PI (Proporcional-Integral); Bloco (1120) de alteração da tensão (560) do termistor atuando no sinal do TEC (540), onde em seguida o processamento retorna ao bloco (1110), caso as tensões (560) do termistor e a tensão estabelecida coincidam dentro de uma tolerância preestabelecida executa-se o bloco (1125); Bloco (1125) onde o processamento inicia a captura do sinal de retroespalhamento Rayleigh na placa processadora de sinais (370); Bloco (1130) de geração do traço OTDR expresso em termos de atenuação versus distância; bloco (1135) de armazenamento em base de dados do traço de OTDR para o comprimento de onda atual; Bloco (1140) onde incrementa-se o comprimento de onda; e Bloco (1145) de encerramento da etapa (1030) retornando à etapa (1020), repetido os comprimentos e onda inicial e final um a um.

11 - MÉTODO DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, método, de acordo com as reivindicações 9 e 10, caracterizado por pós-processamento dos traços OTDR (1040) ser realizado em treze blocos de processamento ou blocos lógicos da seguinte maneira: Bloco (1200) onde atribui-se os valores dos comprimentos de onda inicial, final e o incremento; Bloco (1205) onde executa-se o conjunto de passos denominados ajuste linear dos traços de OTDR; Bloco (1210) de leitura do traço de OTDR previamente armazenado em uma base dados correspondente ao comprimento de onda inicial; Bloco (1215) de identificação dos pontos de descontinuidade presentes no traço OTDR; Bloco (1220) onde aplica-se um ajuste de melhor reta entre as descontinuidades do traço de OTDR: Bloco (1225) onde determinam-se as atenuações nos pontos de descontinuidades relativos ao traço de OTDR correspondente ao comprimento de onda inicial; Bloco (1230) onde armazenam-se as atenuações obtidas no bloco (1225) em um vetor; Bloco (1235) de verificação se este traço de OTDR processado é ou não o último traço de OTDR correspondente ao comprimento de onda final, em caso negativo é realizado o bloco (1240) e em caso positivo executa-se o bloco do método adaptativo (1245); Bloco (1240) onde incrementa-se o comprimento de onda inicial e realiza-se a leitura do traço de OTDR previamente armazenado do comprimento de onda inicial, e o processo retorna ao bloco (1215) até que todos os traços de OTDR de todos os comprimentos de ondas sejam processados; Bloco (1245) onde realiza-se a leitura do espectro de atenuação de referência da substância desejada obtendo os dados no bloco (1250) e aplicando-se o método adaptativo nas atenuações capturadas no bloco (1255); Bloco (1260) onde aplica-se a filtragem digital a critério do operador no bloco (1265); Bloco (1270) onde externam-se as atenuações ópticas em função do comprimento de onda obtidas, resultando na curva espectral de absorção; Bloco (1275) onde encerra-se o processo retornando ao bloco (1050).

12 - MÉTODO DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **método**, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado por** método adaptativo realizado no bloco (1255) do sub-bloco (1245) ser aplicado nas atenuações capturadas utilizando diversos picos de referência obtidos do banco de dados HITRAN ou previamente registrados; onde dito método adaptativo consiste no ajuste dos desvios em comprimento de onda na localização dos picos espectrais de absorção originados por erros residuais de sintonia do laser, para que os picos coincidam em comprimento de onda, aplicando um deslocamento ou correção de comprimento de onda,  $\Delta\lambda$ corr, (1440) nos dados experimentais, onde os valores de picos experimentais para correção de comprimento de onda são obtidos, da célula de referência (420) e aplicando uma correção (1445) para deslocar verticalmente a curva de absorção, resultando em uma atenuação em comprimento de onda nula; onde a é obtida calculando-se a média de atenuações (1330) em região fora da banda de absorção. 13 - MÉTODO DE DETECÇÃO E RECONHECIMENTO DE GASES DE FORMA REMOTA E EM TEMPO REAL UTILIZANDO FIBRA ÓPTICA, **método**, de acordo com as reivindicações 9, 10, 11, 12, **caracterizado por** poder apresentar uma filtragem digital aplicando-se ao final do sub-bloco (1245) do bloco (1040) o sub-bloco denominado filtragem digital 1260 a critério do operador, onde no bloco (1265) do sub-bloco (1260) são aplicados filtros digitais nos espectros coletados obtendo-se a suavização de curva da curva de espectro experimental.





































FIG. 11B









FIG. 14B





Banco de dados HITRAN	Medição		
$\lambda_{R1}$	λ <sub>M1</sub>		
$\lambda_{R2}$	λ <sub>M2</sub>		$\Delta \lambda_{\rm corr}$
$\lambda_{R3}$	$\lambda_{M3}$		
		1450	
λ <sub>Rn</sub>	λ <sub>Mn</sub>		

FIG. 14D



FIG. 14E

