



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112016025899-1 B1



(22) Data do Depósito: 08/05/2015

(45) Data de Concessão: 22/02/2022

(54) Título: MÉTODO PARA OBTENÇÃO DE UMA INDICAÇÃO DE INFLUXO DE FLUIDO E APARELHO DE DETECÇÃO ACÚSTICA DISTRIBUÍDA

(51) Int.Cl.: E21B 47/06; E21B 47/12.

(30) Prioridade Unionista: 08/05/2014 GB 1408131.9.

(73) Titular(es): OPTASENSE HOLDINGS LIMITED.

(72) Inventor(es): ROGER CRICKMORE; ANDREW RIDGE.

(86) Pedido PCT: PCT GB2015051359 de 08/05/2015

(87) Publicação PCT: WO 2015/170115 de 12/11/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 04/11/2016

(57) Resumo: MÉTODO E APARELHO PARA OBTENÇÃO DE UMA INDICAÇÃO DE INFLUXO DE FLUIDO. Métodos e aparelho para obter uma indicação de influxo de fluido em uma seção de um poço de gás tendo múltiplas perfurações através das quais fluidos compreendendo gás e/ou líquido entram no poço são descritos. Em um exemplo, a temperatura dentro da seção do poço de gás é monitorada em uma pluralidade de localizações. As localizações compreendendo (a) um primeiro conjunto de localizações, na perfuração ou próximo de uma perfuração; e (b) um segundo conjunto de localizações em que a temperatura é substancialmente independente dos efeitos do influxo de gás em uma perfuração. Uma indicação de excursões de temperatura nas localizações é obtida e usada para obter uma indicação do influxo de fluidos para o poço relacionando as indicações de excursões de temperatura a partir do segundo conjunto de localizações para influxo de líquido e relacionar as indicações de excursões de temperatura a partir do primeiro conjunto de localizações para influxo de gás e líquido.

“MÉTODO PARA OBTENÇÃO DE UMA INDICAÇÃO DE INFLUXO DE FLUIDO E APARELHO DE DETECÇÃO ACÚSTICA DISTRIBUÍDA”

[0001] Esta invenção se refere a influxo de fluido, em particular, mas não exclusivamente para o influxo de fluido em um furo de poço de um poço de hidrocarboneto tal como um poço de gás.

[0002] Na produção de hidrocarboneto, geralmente existe um desejo de rastrear de maneira precisa fluidos dentro de um poço. Isto é útil para a corrida eficiente de um poço, por exemplo, para determinar como várias porções do poço estão contribuindo para a produção global. Em adição, pode ser que diferentes entidades dominam diferentes reservatórios que são acessados por um furo de poço comum. Entender o fluxo de fluido no poço permite que os lucros de particulares proprietários sejam determinados de acordo com o volume de hidrocarboneto produzido a partir daquele reservatório.

[0003] Como será familiar para o perito, o hidrocarboneto desejado (óleo, gás, etc.), não é o único fluido em um poço. Outros fluidos, tais como água, também serão encontrados. De fato, controle de água geralmente é uma preocupação chave para operadores de poço. A água deve ser separada do hidrocarboneto desejado, antes de ser comumente quimicamente tratado e retornado para o solo, tudo que adiciona custos operacionais. Onde um volume de água excede um certo nível, um poço pode se tornar economicamente não viável. Em certos poços de gás, água também pode inibir ou interromper o escoamento onde a pressão de gás é muito baixa para empurrar a água para fora.

[0004] Acesso a partir de um furo de poço para um reservatório de hidrocarboneto pode ser através de uma ou mais perfurações na parede de um revestimento de furo de poço. Onde o volume de água influxo a partir de uma perfuração particular é significativo (ou significativo em comparação com a quantidade de hidrocarboneto), a perfuração pode ser considerada de ter se

tornado 'sem água', e o bloqueio da perfuração pode aumentar a lucratividade do poço. No entanto, geralmente é difícil determinar quais perfurações estão contribuindo em excesso para um conteúdo de água em um poço.

[0005] Ferramentas de perfilagem de produção conhecidas para monitorar o escoamento dentro de um poço incluem medidores de fluxo tais como medidores de turbina, ou 'giradores', que são posicionados dentro de um poço em funcionamento para medir a velocidade de fluxo de fluido com base na velocidade de rotação de um girador. Infelizmente, a relação entre a velocidade do girador de rotação e o fluxo de fluido real são complexos devido à fricção e à viscosidade de fluido e em menores velocidades de fluxo um girador pode não funcionar. Ainda, tais giradores interferem com o fluxo e geralmente proveem medições confusamente diferentes quando sendo inseridos e retirados. Adicionalmente, não é fácil distinguir entre fluidos usando giradores.

[0006] Existem outros medidores de fluxo, tais como medidores de orifício de gás, medidores de fluxo ultrassônico, Medidores de Coriolis, etc. que possuem vantagens e desvantagens associadas. No entanto, todos tais medidores estão sujeitos aos danos a partir do seu ambiente de operação hostil, necessitam de calibração cuidadosa e impedem o fluxo.

[0007] Em adição, medidores de múltiplas fases, que são capazes de distinguir entre líquidos e gases (que podem ser gás, óleo e/ou água) também são conhecidos. Novamente, tais medidores estão sujeitos aos ambientes perigosos e podem não ser capazes de isolar as contribuições a partir de perfurações individuais.

[0008] Todos tais métodos necessitam de intervenção de poço, com preocupações de segurança associadas, e tempo ocioso de poço, e são apenas capazes de prover uma foto no tempo. O uso de fibras ópticas para estimar a temperatura de um poço e implicar taxas de fluxo também é conhecido, por exemplo, a partir de US6618677. No entanto, o método descrito no mesmo

confia em um modelo complexo e requer um poço 'fechado' antes de o método poder ser empregado.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0009] De acordo com um primeiro aspecto da invenção, é provido um método de obtenção de uma indicação de influxo de fluido em uma seção de um poço de gás tendo múltiplas perfurações através das quais fluidos compreendendo gás e/ou líquido entram no poço, compreendendo as etapas de:

(i) monitorar a temperatura em uma pluralidade de localizações dentro da seção do poço de gás, as localizações compreendendo (a) um primeiro conjunto de localizações, na perfuração ou próximo de uma perfuração; e (b) um segundo conjunto de localizações em que a temperatura é substancialmente independente de efeitos de temperatura do influxo de gás em uma perfuração;

(ii) determinar uma indicação de excursões de temperatura nas localizações;

(iii) obter uma indicação do influxo de fluidos para o poço relacionando as indicações de excursões de temperatura a partir do segundo conjunto de localizações para influxo de líquido e relacionar as indicações de excursões de temperatura a partir do primeiro conjunto de localizações para influxo de gás e líquido.

[00010] Como será descrito em maior detalhe abaixo, através do monitoramento da temperatura em uma perfuração, o efeito de influxo de gás na perfuração na temperatura através do efeito de refrigeração de Joule - Thompson e do líquido (tipicamente bastante água) no poço de gás pode ser obtido. Através do monitoramento da temperatura longe das perfurações (por exemplo, nos pontos entre as perfurações referidos aqui como nulos), as alterações de temperatura devido ao fluxo de líquido podem ser consideradas, até uma boa aproximação, independentemente daquelas de influxo de gás. Isto

permite uma estimativa tanto de influxo de gás quanto líquido para fazer, que por sua vez pode ajudar no gerenciamento de poço. O método também pode ser aplicado sobre todo o poço de gás.

[00011] Em algumas modalidades, portanto, o método compreende determinar uma indicação de influxo de água e/ou gás a partir de pelo menos uma perfuração. Isto pode permitir que um operador de poço considere as implicações de fechar ou vedar uma perfuração particular, e/ou para atribuir ganhos dentre partes tendo um interesse no poço.

[00012] A etapa de monitoramento da temperatura pode compreender monitorar alterações de temperatura sem monitorar a temperatura real. Em algumas modalidades, as excursões de temperatura são monitoradas por um período de tempo, e a etapa de determinação de uma indicação de excursões de temperatura compreende somar flutuações de temperatura, medir flutuações de temperatura, e/ou interagir energia de sinal que surge das flutuações de temperatura detectadas sobre o período. Tal método compreende somar a 'energia' nos sinais. Como o perito está sabendo, em qualquer profundidade dada, o poço vai ter um plano de fundo, ou equilíbrio, temperatura que é ditada pela energia geotérmica do solo em que um poço é formado. Tipicamente, poços são quentes no fundo do que o topo e fluido ou gás que entra e/ou se move através do poço resulta em deslocamentos de temperatura a partir desta temperatura de equilíbrio. A energia fazendo com que estas flutuações sejam indicativas dos fluxos de fluido.

[00013] Se pelo menos um do segundo conjunto de localizações está acima de todas as perfurações de poço, uma estimativa de uma excursão de temperatura devido ao volume total de água produzida pelo poço em um período de tempo pode ser determinada. Adicionalmente, pode ser vantajoso obter uma medição do volume total de gás produzido pela seção do poço. Tais medições podem ser vantajosas nos resultados de escalonamento para estimar adicionalmente o volume de influxo de fluido/gás em cada perfuração em

referência aos volumes totais de fluido/gás.

[00014] Em alguns exemplos, o primeiro conjunto de localizações compreende localizações em cada perfuração da seção do poço, e/ou o segundo conjunto de localizações fica em cada lado de uma localização a partir do primeiro conjunto. Isto permite a contribuição a partir de cada perfuração a ser considerada, que pode ser de interesse no gerenciamento de poço.

[00015] Em alguns exemplos, o método pode compreender determinar um poço seção em que para aplicar o método. Em tais exemplos, a seção pode ser determinada tal que a velocidade com a qual o fluido sobe através do poço é substancialmente constante. Isto simplifica o processamento necessário. No entanto, em outros exemplos, uma velocidade local do fluido pode ser determinada (por exemplo, considerando a velocidade com a qual funcionalidades de temperatura associadas com um fenômeno particular tal como um 'tampão', como descrito em maior detalhe aqui após se mover para cima o poço), e esta pode ser incorporada para o modelo na base que líquido que se move mais lentamente possui uma maior duração de tempo para transferir energia, que pode permitir que leituras a partir de duas seções sejam comparadas.

[00016] Alternativamente ou adicionalmente, a seção do poço pode ser selecionada de forma a ser livre de líquido permanente. Será percebido que água restante pode ser observada na base de um poço. No entanto como o método confia, pelo menos em parte, nos fluidos se movendo no poço, qualquer tal seção é preferivelmente evitada na realização do método.

[00017] Vantajosamente, a etapa de monitoramento de temperatura é realizada monitorando o retroespalhamento na fibra de Detecção Acústica Distribuída (DAS) (isto é, pode ser realizada monitorando o retroespalhamento em uma fibra óptica adequada para o uso com técnicas de detecção de Detecção Acústica Distribuída (DAS)). Tal sistema é capaz de

monitorar mudanças relativamente pequenas e/ou rápidas na temperatura.

[00018] Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores em que a temperatura absoluta é medida em pelo menos uma localização. O conhecimento da temperatura real em pelo menos uma localização pode ajudar na determinação dos fluxos de fluido em um poço.

[00019] De acordo com um segundo aspecto da invenção, é provido aparelho para obter uma indicação de influxo de fluido em uma seção de um poço de gás tendo múltiplas perfurações através das quais fluidos compreendendo gás e/ou líquido entram no poço, compreendendo:

- uma fibra óptica, arranjada ao longo do comprimento da seção do poço;

- uma unidade de interrogador arranjada para interrogar a fibra com radiação óptica e para detectar qualquer radiação retroespalhada dentro da fibra óptica;

- circuito de processamento arranjado para processar os sinais detectados para determinar uma indicação de excursões de temperatura em (i) um primeiro conjunto de localizações, que está na perfuração ou próximo de uma perfuração e (ii) um segundo conjunto de localizações em que a temperatura é substancialmente independente dos efeitos do influxo de gás em uma perfuração;

- em que os circuitos de processamento são arranjos adicionais para determinar uma indicação do influxo de fluidos para o poço relacionando as indicações de excursões de temperatura a partir do segundo conjunto de localizações para influxo de líquido e relacionar as indicações de excursões de temperatura a partir do primeiro conjunto de localizações para influxo de gás e líquido.

[00020] De acordo com outro aspecto da invenção, é provido aparelho de processamento configurado para realizar o método do primeiro aspecto da invenção e/ou para atuar as os circuitos de processamento do segundo aspecto

da invenção.

[00021] Modalidades da invenção são descritas agora por meio de exemplo apenas com referência às Figuras anexas, em que:

A Figura 1 mostra um aparelho de detecção de fibra óptica distribuída;

A Figura 2 mostra pulsos que podem ser usados na detecção de fibra óptica distribuída;

A Figura 3 mostra detalhe dos circuitos de processamento do aparelho da Figura 1;

A Figura 4 mostra um poço que incorpora aparelho de detecção de fibra óptica; e

As Figuras 5 a 8 mostram sinais associados com localizações em um poço.

[00022] A Figura 1 mostra uma representação esquemática de um arranjo de detecção de fibra óptica distribuída. Um comprimento da fibra de detecção 101 é conectado de maneira removível em uma extremidade para uma unidade de interrogador 100. A fibra de detecção 101 é acoplada com uma saída/entrada da unidade de interrogador 100 usando meios de acoplamento de fibra óptica convencionais. A unidade de interrogador 100 é arranjada para lançar pulsos de radiação óptica coerente para a fibra de detecção 101 e para detectar qualquer radiação a partir dos ditos pulsos que é retroespalhada dentro da fibra óptica 101. Para um espalhamento de Rayleigh com base no aparelho de detecção distribuído por fibra óptica, a unidade de interrogador 100 vai detectar radiação que foi retroespalhada por Rayleigh a partir de dentro da fibra 101. Para gerar os pulsos ópticos, a unidade de interrogador 100 compreende pelo menos um laser 102. A saída do laser 102 é recebida por um modulador óptico 103 que gera a configuração de pulso como será descrito posteriormente. As saídas de pulso do modulador óptico 103 então são transmitidas para a fibra de detecção 101, por exemplo, através

de um circulador 104. Uma alternativa para o uso de um modulador óptico pode ser para acionar o laser de tal modo que ele produz uma saída de pulso.

[00023] Note que como usado aqui o termo "óptico" não está restrito ao espectro visível e radiação óptica inclui radiação de infravermelho, radiação de ultravioleta e outras regiões do espectro eletromagnético.

[00024] Uma proporção da luz na fibra 101 é retroespalhada a partir de sítios de espalhamento dentro da fibra 101. Em um modelo simples, o número de sítios de espalhamento pode ser pensado para determinar a quantidade de espalhamento que pode ocorrer e a distribuição de tais sítios de espalhamento determina a interferência. Um estímulo pode resultar em uma alteração do comprimento de caminho óptico dentro da relevante seção da fibra (que podem ser uma alteração física no comprimento e/ou uma alteração no índice de refração efetivo em parte da fibra). Neste modelo simples, isto pode ser pensado como mudando a separação dos sítios de espalhamento, mas sem qualquer efeito significativo no número. O resultado é uma alteração nas características de interferência. Em efeito, o estímulo levando às mudanças de comprimento de caminho óptico em uma relevante seção da fibra pode ser observado como variação do ponto de polarização de um interferômetro virtual definido pelos vários sítios de espalhamento dentro daquela seção da fibra 101.

[00025] Qualquer radiação óptica que é retroespalhada a partir dos pulsos ópticos que se propagam dentro da fibra de detecção 101 é direcionada para pelo menos um fotodetector 105, novamente, por exemplo, através do circulador 104. A saída de detector é amostrada por um conversor de analógico para digital (ADC) 106 e as amostras a partir de ADC 106 são passadas para circuito de processamento 107 para o processamento. Os circuitos de processamento 107 processa as amostras do detector para determinar um valor de saída para cada de uma pluralidade de compartimentos de análise, cada compartimento de análise ou canal que

corresponde com uma diferente porção de detecção longitudinal (apesar de possivelmente sobrepor) de interesse da fibra óptica 101. Será notado que a unidade de interrogador 100 pode compreender vários outros componentes tais como amplificadores, atenuadores, filtros adicionais, compensadores de ruído, etc., mas tais componentes foram omitidos na Figura 1 para clareza na explicação da função geral da unidade de interrogador 100.

[00026] Nas modalidades da presente invenção, o laser 102 e o modulador 103 são configurados para produzir pelo menos uma série de pares de pulso em uma taxa de lançamento particular como discutido agora em relação à Figura 2. No entanto, outras configurações de pulso são possíveis.

[00027] A Figura 2 mostra um primeiro pulso 201 em uma primeira frequência $F1$ e tendo uma duração $d1$ seguida por um curto tempo depois por um segundo pulso 202 tendo uma segunda frequência $F2$ e tendo uma segunda duração $d2$. As frequências dos dois pulsos $F1$, $F2$ podem ser as mesmas ou podem ser diferentes. Em alguns exemplos, as durações (e assim as larguras espaciais) dos dois pulsos $d1$, $d2$ são iguais entre si apesar deste não precisar ser o caso. Os dois pulsos 201, 202 possuem uma separação no tempo igual a T_s (como mostrado T_s representa a separação de tempo entre as bordas dianteiras dos pulsos).

[00028] Quando um par de pulso se propaga dentro da fibra óptica 101, alguma luz será espalhada a partir de cada um dos pulsos 201, 202 a partir de sítios de espalhamento intrínsecos dentro da fibra óptica 101. Pelo menos parte da luz retroespalhada será guiada de volta para o início da fibra óptica 101 onde ela pode ser detectada. O sinal retroespalhado recebido no detector 105 em qualquer instante é um sinal de interferência que resulta da combinação da luz espalhada.

[00029] O sensor de fibra óptica distribuída da Figura 1 confia no fato de que qualquer perturbação para a fibra óptica, por exemplo, deformação, ou expansão térmica ou alterações no índice de refração devido às alterações de

temperatura na fibra óptica 101 vai fazer com que um comprimento de caminho óptico mude que, portanto, pode modular por fase o sinal de interferência gerado. A detecção de uma mudança de fase no sinal de interferência a partir de a particular seção da fibra 101 assim pode ser usada como uma indicação de uma mudança de comprimento de caminho óptico com a fibra óptica 101 e assim como uma indicação de condições (temperatura, deformação, acústica, etc.) naquela seção da fibra 101. Tais sensores com base em fase possuem a vantagem de prover uma resposta linear e quantitativa para um estímulo incidente. Em princípio, uma série de pulsos únicos pode ser usada, mas neste caso pode não haver uma relação quantitativa entre o sinal de saída e o estímulo.

[00030] Neste exemplo, a unidade de interrogador 100 é operada substancialmente como é descrito em maior detalhe nos nossos pedidos depositados anteriormente WO2012/134022 e WO2012/134021, que são incorporados aqui por referência em toda a extensão que pode ser permitida. Em um exemplo, canais são definidos por um certo tempo de amostragem após lançar de um par de pulso, e as sucessivas saídas de detector proveem um sinal de portador modulado por fase em uma frequência definida pela diferença de frequência entre os pulsos de um par de pulso (e, portanto, compreendendo um sinal de interferência entre luz retroespalhada a partir de ambos os pulsos de um par), que pode ser obtida, por exemplo, usando o modulador 103 para modular a frequência entre o lançamento dos pulsos dentro de um par de pulso.

[00031] Como também é descrito nos nossos pedidos depositados anteriormente WO2012/134022 e WO2012/134021, pode haver uma diferença de fase relativa entre os pulsos de um par, e esta diferença de fase relativa pode mudar a partir de um par de pulso para o próximo. Em um arranjo, que oferece vantagens de processamento, a frequência de portador é arranjada para ser um quarto da taxa de lançamento tal que um sinal na

frequência de portador evolui por 90° em fase entre lançamento de sucessivos pares de pulso. Isto também permite o uso eficiente de largura de banda de modulação.

[00032] A Figura 3 ilustra uma modalidade de como este sinal de portador modulado é processado pelo circuito de processamento 107 para determinar a fase do sinal de portador para um único canal. As amostras representando o sinal de portador modulado para um canal do sensor são filtradas por passa alta 301 para remover quaisquer componentes em DC ou baixa frequência. O sinal filtrado é dividido em dois canais de processamento e os sinais em cada canal são multiplicados tanto por função seno 302 quanto por função cosseno 303 na frequência de portador e então filtrados em passa baixa pelos filtros de passa baixa de componente I e Q 304 e 305 para gerar componentes Em Fase (I) e de quadratura (Q) como é conhecido em esquemas de desmodulação complexos. Onde a frequência de portador é $\frac{1}{4}$ da taxa de ping, cada amostra é multiplicada por qualquer um de 0, +1 ou -1. Os sinais I e Q resultantes então são usados para calcular o valor de fase pela conversão retangular para polar (RP) 306.

[00033] Conversão de RP opcionalmente também pode gerar um valor de amplitude. O sinal de saída é um deslocamento de fase medido em radianos sobre a faixa de frequência de 0 Hz até um limite superior que é determinado pelos filtros de passa baixa de componente I e Q 304 e 305.

[00034] Nas técnicas de DAS convencionais (isto é, aquelas aplicadas à detecção de sinais acústicos), este deslocamento de fase, Φ_0 , pode ser filtrado por passa alta. Isto é considerado vantajoso já que elimina os sinais de ruído não desejados que ficam na região de baixa frequência. No entanto, na corrente aplicação, as alterações de temperatura de baixa frequência que são de interesse e, portanto, o valor de fase pode ser (opcionalmente) filtrado em passa baixa para remover efeitos acústicos e para tal fim (em uma fuga dos ensinamentos de WO2012/134022 e WO2012/134021), os dados são

passados para um filtro de passa baixa 307. Na prática, a porção de sinal de alta frequência pode ser retida e processada separadamente para a detecção acústica, provendo assim um sensor combinado de DAS e temperatura (e/ou outras mudanças que atuam devagar). A frequência de corte do filtro de passa baixa 307 preferivelmente é predeterminada, mas será percebido pelo perito que não existe distinção bem definida entre sinais acústicos e sinais de temperatura. No entanto tipicamente o limite entre eles é tomado para estar em algum lugar entre 0,1 e 1 Hz, apesar de outras faixas incluindo por exemplo, 1 a 10 Hz (que podem ser consideradas para sobrepor com a faixa acústica) também podem ser consideradas. Esta filtração é descrita adicionalmente abaixo. No entanto, como também notado em maior detalhe abaixo, pode não ser necessário em todos os exemplos.

[00035] Em algumas modalidades, o limite dos filtros de passa baixa de componente I e Q 304 e 305 pode ser selecionado para isolar, ou substancialmente isolar, os componentes de baixa frequência do sinal de fase, e o subsequente filtro de passa baixa de valor de fase 307 pode não ser necessário. Como o perito vai perceber, tais filtros podem ser providos primariamente para remover os componentes de “frequência dupla” gerados no estágio de mistura da produção dos componentes de I e Q, no entanto eles também podem ser usados para remover qualquer componente na frequência de portador que resulta a partir de qualquer sinal de entrada de baixa frequência remanescente sendo multiplicado pelos termos de sen e cos. Para este fim, o limite em geral é definido para ser menor do que a frequência de portador. Por exemplo, os filtros de passa baixa podem ser definidos para ter um corte em um terço da frequência do sinal de portador, o que vai preservar todos os sinais que impõem mudanças de comprimento de caminho na fibra óptica naquela frequência e abaixo. No entanto, neste exemplo, é o sinal de baixa frequências que são de interesse, os filtros de passa baixa 304 e 305 em vez disso podem ter um corte muito menor, por exemplo, de 100 Hz ou

menor. Isto também ajuda a aprimorar a estabilidade da desmodulação como explicado agora.

[00036] O processo de estabilidade da desmodulação depende de luz suficiente tendo sido retroespalhada a partir dos dois pulsos para gerar um portador com suficiente razão de portador para ruído (CNR). Estes sítios de espalhamento são distribuídos efetivamente de maneira aleatória dentro da fibra 101. Para algumas seções da fibra 101, luz retroespalhada vai tender a interferir de maneira construtiva fornecendo um grande nível de retroespalhamento a partir de um pulso enquanto para outras seções haverá uma interferência mais destrutiva resultando em um nível de retroespalhamento inferior. Se a luz retroespalhada a partir de ambos os dois pulsos cai então o nível de portador gerado misturando os mesmos vai diminuir. Um menor nível de portador vai significar que os componentes I, Q se tornam mais ruidosos e se o nível de ruído se torna muito grande então fase obtida a partir dos mesmos vai mostrar uma série de saltos de 2π radianos corrompendo desta forma os dados. A lucratividade destes saltos 2π ocorrendo está relacionada inversamente com o nível de ruído nos componentes de I e Q. Já que este ruído é de banda larga, o seu nível pode ser reduzido usando um corte de menor frequência para os filtros 304 e 305 na Figura 3. Portanto, através da redução desta largura de banda se reduz as chances de gerar um salto de 2π nos dados e assim o processo de estabilidade da desmodulação é aprimorado.

[00037] A tarefa de isolar o sinal de baixa frequência, portanto, pode ser realizada pelos filtros de passa baixa de componente I e Q 304, 305 ou pelo valor de fase filtro de passa baixa 307, ou pode ser dividida entre eles. No entanto, através da diminuição do limite de corte do filtro de valor de fase 307 não aprimora a estabilidade da desmodulação.

[00038] Também será percebido que o limite selecionado para a filtração depende do sinal de interesse. Em geral, o filtro deve ser projetado

para reter todo o sinal de interesse. Considerando o exemplo de temperatura, portanto, quando se projeta o sistema, a variação de temperatura antecipada, e a velocidade com a qual a fibra reage, devem ser considerados, e um limite de frequência superior que preserva o valor de alteração mais rápida das alterações antecipadas.

[00039] No entanto, foi notado que, em alguns ambientes de furo abaixo (por exemplo, em poços de gás apertados), sinais de temperatura dominam sobre sinais acústicos. Portanto, pode ser o caso em que nenhuma filtração é necessária no filtro 307 (isto é o filtro 307 pode estar ausente) para isolar o sinal de temperatura de baixa frequência já que pode ser o sinal dominante.

[00040] Assumindo que a mudança de fase (ou mudança de fase de baixa frequência retida) seja bastante devido à alteração de temperatura, a alteração de temperatura pode ser determinada a partir dos dados processados de maneira adequada multiplicando os mesmos por uma relação de temperatura/fase predeterminada do cabo de fibra. A relação de temperatura/fase vai depender da fibra usada. Em geral, a relação de temperatura/fase para uma fibra nua é bem conhecida, mas esta é modificada se revestimentos extra são posicionados na mesma ou esta é incluída em uma estrutura de cabo. A relação de temperatura/fase para um particular cabo pode ser calculada ou pode ser medida de maneira experimental. Se o objetivo primário de um particular sistema de detecção distribuído com base em retroespalhamento de Rayleigh em um sistema de fibra óptica é para medir temperaturas, uma fibra com uma grande mudança em fase com temperatura pode ser usada. Isto pode, por exemplo, ser obtido usando uma fibra com um revestimento de um material (que pode ser um revestimento relativamente grosso para aprimorar o efeito) com um alto coeficiente de expansão térmica.

[00041] Para um sistema de pulso duplo, a conversão de fase para temperatura pode ser feita para qualquer amplitude de sinal. Para sistemas de

pulso único isto não é possível devido ao problema de sumiço de sinal bem conhecido. No entanto para grandes variações de temperatura lentas que causam embaralhamento do sinal, é possível estimar a taxa de fase e assim alteração de temperatura em um sistema de pulso único.

[00042] Enquanto conhecimento das variações de temperatura reais pode ser útil já que permite que sinais a partir de diferentes localizações sejam comparados o que por sua vez pode ajudar um melhor entendimento de como vários processos causam variações de temperatura em torno da fibra de detecção 101, nas modalidades descritas aqui abaixo tal medição não é essencial já que as suas relativas alterações de temperatura que são de interesse.

[00043] Medidas também podem ser tomadas para compensar o ruído de fase de laser e semelhantes. Em particular, ruído de fase de laser é devido a uma derivação lenta no comprimento de onda do laser que gera a radiação de interrogação. Isto pode impor um similar deslocamento de fase como um estímulo que atua lentamente e, portanto, pode ser difícil de distinguir a partir de uma alteração de temperatura. Em um sistema de DAS convencional para detectar sinais acústicos, ruído de fase de laser é menos uma preocupação, já que é observado afastado da banda de sinal de interesse. No entanto, ruído de fase de laser em algumas modalidades pode ser um componente significativo do sinal de mudança de fase em baixas frequências (digamos, abaixo de 1 Hz). Enquanto não existe distinção bem definida entre a frequência de sinais acústicos e sinais de temperatura, tipicamente os sinais de temperatura serão considerados como ficando abaixo de 1 ou 2 Hz, e comumente em termos práticos vão ficar entre 0,1 e 1 Hz (apesar, como descrito aqui a seguir, de a frequência de corte determinar mudanças de fase devido à temperatura usada aqui poder ser definido como menor). Em alguns casos variações de temperatura pode ocorrer apenas por escalas de tempo muito maiores tais como horas, dias ou até mais.

[00044] No entanto, ruído de fase produz um sinal que é o mesmo através da fibra.

[00045] Portanto, pode ser possível prover uma porção da fibra que é pelo menos substancialmente blindada a partir de pelo menos alguma outra mudança de atua lentamente (por exemplo, está em um ambiente de temperatura estável, para blindar a partir de alterações de temperatura), e para usar o sinal retroespalhado a partir desta seção da fibra blindada para prover uma indicação de ruído de fase de laser.

[00046] Alternativamente ou adicionalmente, como o ruído de fase de laser é consistente através da fibra, ruído de fase de laser pode ser estimado calculando o sinal médio retornado a partir de pelo menos parte de, e possivelmente cada, porção da fibra (isto é cada canal). Em alguns exemplos, o sinal a partir de algumas (preferivelmente a maioria das) porções da fibra pode ser usado para determinar a média, mas sinais retornados a partir destas porções que possuem altos níveis de sinal de baixa frequência a partir de outras fontes tais como o sinal de interesse ou altos níveis de ruído devido a um baixo sinal de portador podem ser excluídos. Apesar de isto oferecer a vantagem de que nenhuma seção de fibra blindada é necessária, se assume que o sinal de baixa frequência de interesse nas porções da fibra usada para calcular a média não está correlacionado (como, por exemplo, se a fibra inteira foi sujeitada à mesma alteração de temperatura, este sinal de temperatura também pode ser consistente através de todos os canais, e difícil de distinguir do ruído). No entanto, na aplicação de detecção de temperatura em um poço de gás, tal alteração comumente pode ser muito lenta e alterações de frequência muito baixa podem ser filtradas com um filtro de passa alta como destacado abaixo.

[00047] Uma vez que uma estimativa de ruído de fase de laser foi determinada, pode ser compensado nos sinais.

[00048] Em adição, medidas podem ser tomadas para garantir que

dados de “boa qualidade” sejam obtidos e usados na derivação de sinais de medição. Por exemplo, como descrito em WO2012/137021, uma pluralidade de amostras correspondendo com cada porção de detecção de interesse pode ser adquirida (estas amostras podem ser adquiridas a partir de seções de fibra de sobreposição) e projetada como canais separados para o processamento. Os canais podem ser combinados de acordo com uma métrica de qualidade, que pode ser uma medida do grau de similaridade dos dados processados a partir dos canais. Isto permite que as amostras que possuem um alto nível de ruído, por exemplo, devido ao desaparecimento do sinal de portador, a ser desconsiderado, ou dada uma baixa classificação no resultado final.

[00049] No entanto, o método descrito em WO2012/137021 usa um filtro de passa alta, que também pode remover informação térmica. Portanto, para garantir que esta informação seja retornada, mas que os benefícios do método descrito em WO2012/137021 são mantidos no contexto de modulação de fase de baixa frequência, o método pode ser implementado sem filtração de passa alta. Em vez de escolher os canais que são ainda mais similares, a métrica de qualidade em vez disso pode ser com base em uma determinação do nível de sinal em alta frequência (com menores níveis sendo favorecidos), ou a razão entre o sinal na baixa frequência (por exemplo, 2-20Hz), o sinal em alta frequência (com maiores razões sendo favorecidas), ou o diferencial máximo do sinal com relação ao tempo. Estes métodos não são afetados pelo nível de deslocamento de DC e são com base no fato de que a maioria dos sinais devido às perturbações físicas possui um maior nível em baixas frequências, enquanto o ruído de sistema, que depende do nível de portador variável, possui um espectro mais plano.

[00050] Sem processamento adicional quando existe uma alteração na seleção de canais para a combinação, também é provável de haver uma etapa no sinal de saída já que o novo conjunto de canais em geral pode ter um deslocamento médio diferente para o conjunto antigo.

[00051] Portanto, um deslocamento de DC pode ser adicionado à média dos canais selecionados para fornecer o sinal de saída. Quando os canais definidos mudam, de maneira a evitar uma alteração de etapa na saída, a diferença entre a média do novo conjunto e o conjunto velho pode ser considerado e o deslocamento de DC pode ser definido para remover qualquer mudança de etapa. Em particular, a média de várias amostras sucessivas de canais pode ser considerada e a alteração de deslocamento de DC pode ser suavizada por um número de tais conjuntos de amostra de forma que não existe degrau nos dados, afunilando de maneira eficaz os dados a partir do conjunto velho para o novo de canais para produzir uma junção mais suave.

[00052] Uma métrica de qualidade pode ser determinada em uma base de rolagem ou periodicamente. Em qualquer evento, o número de amostras na região de junção deve ser menor do que qualquer comprimento de bloco de forma a garantir que o comprimento de bloco seja tal que múltiplas alterações durante a região de junção podem ser evitadas. Isto pode ser controlado tanto ajustando um comprimento de bloco mínimo, ou ajustando o número de amostras que contribuem para uma junção, ou ambos, e podem ser predeterminados ou podem variar de acordo com os dados coletados.

[00053] Como será percebido, tal métrica de qualidade é usada para garantir que dados de “boa qualidade” é enfatizada nos dados processados. No entanto, em outros exemplos, após “dados ruins” serem identificados, podem ser simplesmente substituídos com 'dados bons' a partir de canais circundantes.

[00054] Por exemplo, como notado acima, falha de desmodulação pode ser identificada procurando por degraus de múltiplos de 2π entre amostras. Na prática, isto pode ocorrer para várias amostras, tais que a alteração de 2π completa pode ser feita por 5, 10 ou mais amostras a partir de diferentes pares de pulso. Portanto, o limite para detectar uma alteração deve ser definido abaixo $2T$, por exemplo, 60% de uma alteração de 2π , medida através da

diferença de, por exemplo, cinco amostras a partir de diferentes pares de pulso, apesar de outros limites e espaçamento de amostra pode ser apropriado dependendo do conjunto de dados e da taxa de amostra.

[00055] Amostras podem ser consideradas a partir de um quadro de tempo de, por exemplo, um segundo (apesar de outros períodos poderem ser apropriados para um dado conjunto de amostra). Se a característica de falha de desmodulação é detectada, estes dados podem ser simplesmente substituídos por um ou mais canais vizinhos que não exibem a característica. Em um exemplo, se ambos adjacentes canais não exibiram a característica, então a média destes canais pode ser usada. Se nenhum canal adjacente é “bom”, então dados a partir do canal mais próximo podem ser usados. Como mencionado acima, pode ser desejável ajustar ou afunilar a junção entre conjuntos de dados.

[00056] Seguindo o 'reparo' deste modo, os dados podem ser amostrados, (por exemplo, dizimado por 100). Tal amostragem pode ser realizada usando um ou mais de filtro de Resposta de Impulso Finito (FIR), através do uso de uma ferramenta de processamento de sinal tal como a ferramenta de dizimação em MATLAB ou semelhantes. Adicional filtração e/ou normalização podem ser realizadas.

[00057] Seguindo tal dizimação, tendências nos dados serão aparentes. Será notado que esta técnica confia no fato de que relativamente poucos canais vão sofrer de falha de desmodulação, mas isto é consistente com resultados observados. Também foi observado que canais sofrendo de falha de desmodulação podem permanecer naquele estado por algum tempo, por exemplo, horas.

[00058] Em algumas circunstâncias, tal método vai preservar dados mais originais do que métodos usando, por exemplo, médias ponderadas com referência a uma métrica de qualidade.

[00059] Outros métodos podem ser usados para ajudar na identificação

de dados que é provável de sofrer de falha de desmodulação. Por exemplo, canais que possuem uma baixa razão de portador para ruído (CNR), que tipicamente é observada antes, e após períodos de falha de desmodulação. Portanto, CNR pode ser usado para indicar um estado antecipado de falha de desmodulação e/ou dados que exibem baixo CNR podem ser substituídos como destacado com relação a falha de desmodulação acima.

[00060] Como o uso de tal fibra óptica de detecção 101 é relativamente barato, pode ser distribuído em um furo de poço de um modo permanente como os custos de deixar a fibra 101 no local não são significativos. A fibra 101, portanto, é convenientemente distribuída de uma maneira que não interfere com a operação normal do poço. Em algumas modalidades uma fibra adequada pode ser instalada durante o estágio de construção do poço.

[00061] A Figura 4 esquematicamente mostra um poço 400 para acessar hidrocarbonetos subterrâneos, tendo aparelho de detecção de fibra distribuída associado com o mesmo.

[00062] O poço 400 compreende um veio de poço 402, que possui um número de perfurações 404. As perfurações 404 estão na região de gás reserves, e permite que os fluidos entrem no veio 402, onde eles sobem, tanto sob a sua própria pressão quanto elevada usando bombas e semelhantes, para uma cabeça de poço 406 onde o gás é coletado e contido.

[00063] No entanto, como será familiar para o perito, na prática, uma mistura de gás e água quase sempre estará entrando no veio 402 através das perfurações 404. Quando a proporção de água alcança um certo ponto, o poço 400 vai se tornar economicamente inviável. Ainda, em alguns casos, uma grande proporção de água pode reduzir ou até interromper o fluxo de gás a partir de um poço. No entanto, se as perfurações 404 que estão introduzindo uma quantidade desproporcionada de água podem ser identificadas e, por exemplo, vedada, isto pode aumentar a vida econômica do poço 400 e a eficiência de extração. Também é útil rastrear quanto gás cada perfuração 404

está contribuindo para a produção do poço.

[00064] O poço 400 compreende uma fibra de detecção 101, que é anexada com uma unidade de interrogador 100 como descrito em relação à Figura 1 acima, e, neste exemplo, operado descrito em relação a Figuras 1 a 4.

[00065] Em uso do poço, a fibra 101 é interrogada com radiação para prover detecção de temperatura como destacado acima. Isto retorna um sinal que é indicativo de uma alteração de temperatura em uma dada profundidade do veio 402, e está relacionado especificamente com a alteração de temperatura no poço 400 naquela profundidade.

[00066] Como será familiar para o perito, na extração de uma reserva de gás, água comumente é extraída junto com o gás. A água forma o que é conhecido como ‘tampões’ no poço e, como usado aqui, este termo pode ser tomado para significar uma substância que é capaz de transferir calor significativamente dentro de um furo de poço com relação a outras substâncias (por exemplo, gás) dentro do poço (apesar de que, note neste caso que “significativo” pode significar capaz de uma alteração de temperatura na ordem de milliKelvin, que independentemente disto é capaz de ser prontamente detectado pela unidade de interrogador 100). Como a água possui uma maior capacidade de calor específico e coeficiente de transferência térmica do que gás; para uma dada diferença de temperatura um dado volume de água em um poço possui um maior efeito de refrigeração/aquecimento do que o mesmo volume de gás. Os tampões podem ser substancialmente água (apesar de que será percebido que a água provavelmente vai conter outras substâncias, em particular lama, areia, contaminantes e semelhantes), ou pode ser uma porção de gás com uma alta proporção de água.

[00067] O perito também vai saber que a expansão de gás quando ela passa através de uma perfuração 404 e se expande para um veio 402 causa a refrigeração local devido ao efeito de Joule - Thompson. Finalmente, também

é conhecido que comumente existe um gradiente térmico até um poço devido ao gradiente geotérmico no solo circundante, com as seções inferiores do poço sendo em geral mais quentes do que as seções superiores.

[00068] Em virtude do dito acima, através do monitoramento cuidadoso para mudanças na temperatura em uma perfuração, pode-se detectar um tampão que passa a perfuração. Especificamente, o tampão é provável de aquecer a área que cerca a perfuração, que de outra forma é refrigerada pelo gás em expansão. No entanto, este nem sempre precisa ser o caso: é possível que o tampão possa estar mais frio do que a área que cerca uma perfuração. Em qualquer evento, como existem diferentes mecanismos afetando a temperatura do tampão e a temperatura que cerca a perfuração, eles são improváveis de estar no equilíbrio térmico. Adicionalmente, a quantidade de refrigeração por um tampão particular vai depender do volume daquele tampão e a sua velocidade (um tampão que se move mais lentamente possui mais tempo para afetar a transferência de calor).

[00069] Levando em considerando estes fatores, os presentes inventores desenvolveram um modelo de um poço de gás, como é mostrado na Figura 5, em que um grupo de tampões 502 progride até um veio de poço. Quando um tampão 502 passa uma perfuração 404, existe uma alteração de temperatura, que é detectada pela unidade de interrogador 100. Em geral, a temperatura na porção de fibra 101 adjacente à perfuração comumente vai aumentar então diminuir quando o tampão viaja para e além da região de perfuração. A sequência de tampões 502 cria alterações oscilatórias de temperatura 512. Como mostrado na Figura 5, o caminho de um dado tampão (que para o propósito de exemplo é um grande tampão 502') pode ser rastreada além de cada 404, neste caso (como é relativamente grande) como uma maior alteração de temperatura. O deslocamento de tempo entre detecções (isto é o gradiente de 504) é uma indicação da velocidade do tampão. Foi observado que, pelo menos para seções localizadas de um furo de

poço, a velocidade de tampão permanece aproximadamente constante (e de fato este gradiente pode ser usado para determinar a velocidade, e para indicar se de fato não é aproximadamente constante). No entanto, quando se observa no todo as variações de poço na velocidade do tampão podem geralmente ser observadas. Portanto, enquanto em algumas modalidades, a velocidade do tampão pode ser tratada como uma constante, em outros modelos, a velocidade dos tampões pode ser considerada como variável.

[00070] A Figura 5 mostra um gradiente térmico 510 do poço 400 (que pode ter sido determinado para outros propósitos). Em cada perfuração 404, a refrigeração de Joule - Thompson faz com que a temperatura local caia abaixo daquela do gradiente térmico de fundo.

[00071] A amplitude de cada imersão de temperatura, como mostrado com relação ao gradiente térmico 510 as dT_{1-3} , está relacionado com a quantidade de influxo de gás em cada perfuração 404, com maior influxo em geral resultando em uma maior queda de temperatura. Como o perito vai perceber, o gradiente de temperatura 510 e as quedas dT_{1-3} não estão em escala e amplitude das quedas foi exagerada nesta figura para clareza. Em alguns casos, especialmente para perfurações com baixo influxo, pode ser difícil de distinguir a partir de outras variações localizadas no gradiente térmico 510.

[00072] Para o propósito de discussão, enquanto portanto, pode ser considerado que a perfuração média 404 (que está associada com uma queda relativamente pequena dT_2) está produzindo menos gás do que a menor perfuração 404 (que está associada com uma queda relativamente grande dT_2 , na prática, deve-se tomar cuidado quando se faz tais hipóteses: o perito vai saber que existem outros processos que podem afetar a alteração de temperatura, e que o efeito de Joule - Thompson é dependente, dentre outros fatores, pressão, que varia com a profundidade do poço. No entanto tais fatores podem ser levados em conta para um dado poço.

[00073] Apesar de neste exemplo, princípios de detecção de DAS (isto é, com base em retroespalhamento de Rayleigh) são usados (e são sensíveis o suficiente para detectar estas alterações de temperatura), técnicas de detecção de temperatura alternativas podem ser usadas.

[00074] Enquanto para o propósito de ilustração, os tampões 502 são mostradas como formações regulares, cada uma cobrindo toda a seção transversal do poço, o perito vai saber que este pode não ser o caso. Tampões podem ocupar apenas parte da seção transversal, em alguns exemplos tendo uma forma anular (que pode ou não ser um anular completo) em contato com as paredes do poço 400.

[00075] O gradiente térmico 510 provê uma temperatura de “equilíbrio” para cada ponto no poço, isto é a temperatura que o poço pode estar ausente de qualquer fluxo de fluido. Como será percebido pelo perito, o gradiente térmico é usado para muitos propósitos em relação a um poço, incluindo como uma linha de base para excursões de temperatura, mas também para inspeções geológicas, determinar a condutividade de substâncias tais como salmoura em uma dada profundidade, etc. O gradiente térmico pode ser medido (por exemplo, durante a produção do poço, durante períodos de ligado, ou através de repetidas corridas de perfilagem) ou podem ser estimados com base, por exemplo, no gradiente térmico conhecido na região, a composição do solo cercando o poço, ou semelhantes.

[00076] A magnitude de sinal corresponde com a alteração de temperatura causada pelos tampões que passam 502 que por sua vez está relacionada com a transferência de calor e é devido a uma combinação de fatores. Estes fatores incluem o efeito de refrigeração de influxo de gás e, portanto, o volume de gás que entra no poço em uma dada perfuração 404, já que uma maior refrigeração vai resultar em uma maior diferença entre a temperatura do tampão e a perfuração. Também vai depender das capacidades de transferência de calor do tampão que serão relacionadas com a quantidade

de líquido nas mesmas. Assim sinais na menor perfuração 404 na figura que possui um maior grau de refrigeração (isto é, está associado com uma queda relativamente grande dT_1) será maior do que aqueles na perfuração média 404 onde a refrigeração é menor (isto é, está associado com uma queda relativamente pequena dT_2).

[00077] A Figura 6 mostra os sinais devido às alterações de temperatura coletadas em uma única perfuração com o tempo (linha sólida 602) junto com os sinais de temperatura coletados em uma localização que está entre as perfurações (linha pontilhada 604). Pode ser observado que o sinal entre as perfurações é menos variável do que o sinal na perfuração.

[00078] Apesar de o sinal entre as perfurações ser menor, independentemente disto existe um sinal perceptível. Isto ocorre devido à diferença de temperatura entre o poço e os tampões que passam 502. Um tampão 502 tendo se movido para cima a partir de baixo do poço em geral será mais quente do que o gradiente térmico de fundo 510 do poço. Em uma perfuração 404 a temperatura em geral será menor do que este gradiente de fundo 510 devido ao efeito de influxo de gás então a diferença de temperatura entre o tampão 502 e o poço 400 será maior do que nas localizações entre as perfurações 404 onde o poço temperatura estará menor, ou em uma temperatura associada com o gradiente térmico de fundo. Assim os sinais a partir de entre as perfurações 404 vão tender a ser menores do que aqueles obtidos nas perfurações 404.

[00079] Com o tempo (talvez minutos ou horas, o que permite que uma imagem razoável seja obtida enquanto ainda é capaz de assumir que o poço 400 vai ter mantido um estado quase estacionário, e garantindo que suficientes tampões 502 tenham passado para garantir tanto que uma amostra representativa seja obtida a partir de cada perfuração, e que qualquer variação na medição devido ao ruído, etc. será suavizada) as flutuações de temperatura podem ser usadas para fornecer uma medida de tamanho de sinal (por

exemplo, uma indicação da soma das excursões de temperatura) em vários pontos sobre um poço.

[00080] Dados de exemplo são mostrados na Figura 7, em que sinais nas perfurações marcados com um X podem ser comparados com os níveis de sinal entre as perfurações marcadas com um O. Isto origina ao conjunto de sinais (os sinais em cada perfuração, $S_{\text{perf } n}$, e os sinais entre as perfurações, $S_{\text{nulo } n}$). Os picos e vales provendo estes sinais podem ser identificados pelo menos em parte a partir da localização conhecida das perfurações 404, ou pode ser identificada a partir de análise dos sinais para identificar os picos ou uma combinação destas técnicas (e/ou outras técnicas) pode ser usada. Conhecimento de outros fatores que podem contribuir para o sinal permite que eles sejam filtrados ou ignorados se for possível.

[00081] Os dados mostrados na Figura 7 são produzidos integrando a energia do sinal em uma banda de frequência que captura as oscilações de temperatura associadas com a passagem de fluxo de tampão. Isto pode ser alcançado somando uma Transformada de Fourier Rápida FFT na faixa de frequência ou obtendo o RMS dos dados após a filtração para a faixa de frequência desejada. Neste exemplo, os dados de nível de sinal foram calculados tomando o nível de energia de RMS após a filtração de passa alta em 0,003 Hz para remover qualquer derivação lenta no nível de DC dos dados (por exemplo, o poço pode estar gradualmente resfriando ou aquecendo). Apesar de neste exemplo, o limite foi definido para 0,003 Hz, o limite de frequência pode ser determinado com base em um poço individual em um dado estado examinando os dados e estimando a frequência da oscilação de temperatura causada pelos tampões, que está relacionada com a velocidade do tampão, e garantindo que esta informação é mantida. Apesar de o sinal de temperatura real pode ser observado em menores frequências, deve haver um sinal significativo nesta faixa de frequência, e foi notado que este sinal também será amplificado nas perfurações. Como notado acima, apesar de

filtração de passa baixa poder ser desejável em algumas modalidades para remover sinais acústicos, por exemplo, isto nem sempre pode ser necessário.

[00082] A causa destes sinais é a interação dos tampões com a vizinhança. A magnitude de alteração de temperatura estará relacionada tanto com a diferença de temperatura entre os tampões quanto com a vizinhança no ponto no poço e para o volume de água. Adicionalmente, enquanto mais água pode ser adicionada em cada perfuração 404, sob condições normais, pouca ou nenhuma água será perdida. Portanto, o sinal $S_{\text{perf } n}$ em uma perfuração n pode ter os termos:

$$S_{\text{perf } n} = k([dT_{\text{perf } n} + dT_{\text{tampão}}] \times \sum_1^n W_{\text{perf } n})$$

(eq. 1)

onde $dT_{\text{perf } n}$ é a fuga da temperatura que deve ser esperada em uma condição de estado estacionário dado o gradiente térmico do poço (que, como notado acima, está relacionado com o volume de gás introduzido para o poço naquela perfuração), $dT_{\text{tampão}}$ é a diferença entre a temperatura do tampão e a temperatura do poço em estado estacionário e $W_{\text{perf } n}$ é a água a partir de uma dada perfuração (somada para fornecer a quantidade total de água disponível para a condução térmica), e k é a constante.

[00083] Como notado acima, o sinal também é dependente da velocidade do tampão, mas este é assumido como sendo constante neste modelo. Se de fato a velocidade é descoberta como não sendo constante por todo o poço, pode ser preferido considerar o poço nas seções, o comprimento de cada uma das seções sendo limitado a aquela em que a velocidade pode, em uma boa aproximação, ser considerada como constante. De outra forma, a velocidade pode ser incluída no modelo.

[00084] Portanto, pode ser percebido que o termo $[dT_{\text{perf } n}]$ é a “alteração relativa para conhecimento” mostrada na Figura 5 como picos dT_1 .

[00085] Esta equação possui vários termos de interesse: se o termo

$dT_{\text{perf } n}$ pode ser encontrado, este pode ser usado para fornecer uma medida de produção de gás na perfuração n , que pode ser de uso para um operador de poço. Por segundo, se os termos $W_{\text{perf } n}$ podem ser encontrados, este pode identificar as perfurações que estão introduzindo quantidades excessivas de água para o poço 400.

[00086] Independentemente disto, esta equação não pode ser resolvida de maneira analítica, já que contém muitas variáveis desconhecidas. Em particular, será percebido que é difícil de medir $dT_{\text{tampão}}$ absolutamente, que é improvável que a fibra 101 vai entrar em equilíbrio térmico com um tampão 502 devido ao seu tempo de trânsito finito. No entanto, os inventores do presente pedido perceberam que a consideração do sinal entre a perfuração provê informação adicional.

[00087] Especificamente, o sinal entre as perfurações (que é proporcional com uma excursão de temperatura) pode ser modelado como na sequência (onde os termos são como definidos acima):

$$S_{\text{mult } n} = k(dT_{\text{tampão}} \times \sum_{i=1}^n W_{\text{perf } i})$$

(eq. 2)

[00088] Esta equação também é subdeterminada, como k e $dT_{\text{tampão}}$ são desconhecidos. No entanto, quando acoplado com a equação 1 e com um número suficientemente grande de perfurações, o número de variáveis é apenas levemente maior do que o número de equações (quando expandido), o que permite que uma solução numérica de melhor ajuste seja encontrada, por exemplo, usando um algoritmo de mínimos quadrados. Quando n aumenta, e desde que a velocidade do tampão seja pelo menos aproximadamente constante, a confiabilidade da solução de melhor ajuste vai aumentar.

[00089] Também é notado que, tipicamente, o gradiente térmico em um poço significa que um tampão viaja a partir de uma região mais quente para uma região mais fria, e fazendo isto deposita calor. Portanto, também pode ser considerado que o termo $k dT_{\text{tampão}}$ estará relacionado com o

gradiente térmico. De fato, pode ser, até uma aproximação razoável, proporcional com o gradiente térmico. Enquanto isto não é essencial, em alguns exemplos o gradiente térmico será conhecido (ou pode ser determinado prontamente pelo perito usando técnicas conhecidas). Isto pode ser realizado em apenas alguns dos nulos, e pode ser usado para informar o processo de melhor ajuste. De fato, pode ser possível resolver isto para todos os nulos, que pode permitir uma solução absoluta (isto é, analítica em vez de numérica) para o influxo.

[00090] A solução de melhor ajuste pode ser restrita de acordo com outras funcionalidades conhecidas (ou estimadas) do poço de gás. Em particular, pode ser assumido que nenhum dos termos da água ou de gás será negativo, já que na prática pouca para nenhuma água ou gás deve escapar do furo de poço, assim por diante restrição deve ser que nenhum de tais termos são negativos. Em adição, pode ser possível obter alguma informação de temperatura absoluta. Como, enquanto notado acima, pode ser difícil para medir a diferença de temperatura absoluta $dT_{\text{tampão}}$ devido ao tempo de trânsito finito, pode ser possível obter medições de algumas das outras temperaturas ou alterações de temperatura, por exemplo, usando técnicas tais como Detecção de temperatura distribuída (DTS) ou provendo outros sensores de temperatura no poço. Pode ser que, em termos práticos, tais sensores podem ser usados para determinar ou estimar parte das maiores alterações de temperatura ou pode ser capaz de fornecer uma indicação de dT_{perf} em algumas localizações.

[00091] Como o perito vai estar informado, pode haver água significativa no fundo de um poço, de fato pode haver uma porção de água restante. Portanto, o método preferivelmente é empregado sobre uma seção do poço que está suficientemente distante do fundo do poço para evitar risco de que os dados possam ser influenciados pela água restante.

[00092] A solução de melhor ajuste é sensível à quantidade inicial de

água. Em particular, se a perfuração mais inferior injeta uma grande quantidade de água, pode ser que subsequentes termos de água podem não ser distintos prontamente. Portanto, uma técnica suplementar, tal como uma técnica de monitoramento de fluxo conhecida pode ser usada em particular para informar o modelo na base do poço (apesar de eles também poderem ser usados através do poço).

[00093] Alternativamente ou adicionalmente, pode ser preferido iniciar o método tão para baixo quanto o poço for possível, antes de influxo de água significativo. Mais em geral, a quantidade de água na base do poço pode ser considerada quando se avalia a confiança no modelo. Por exemplo, um poço que parece estar produzindo mais água a partir de acima do que a partir de perfurações inferiores podem ser considerados com um maior grau de confiança como para sua precisão do que se o inverso é verdade.

[00094] Olhando novamente na Figura 7, a natureza em geral crescente do sinal nos nulos é devido ao influxo de água. A altura de pico acima desta tendência está relacionada com uma alteração de temperatura devido ao influxo de gás, mas escalonado pelos termos de água.

[00095] A Figura 8 mostra como as proporções de gás e líquido introduzidas em particulares perfurações para um dado poço, usando os dados primeiramente apresentados na Figura 7. Os picos e vales identificados e indicativos das contribuições de gás e água em cada perfuração podem ser determinados, como mostrado no gráfico de barra para a direita da Figura 8. Deve ser notado que estas não são medições absolutas, mas em vez disso são contribuições proporcionais (e as barras de gás e água não estão na mesma escala). Os valores absolutos podem ser obtidos considerando totais reais de produção de gás e água, como em geral será medido no ponto de extração.

[00096] Para o propósito de discussão, dados associados com duas perfurações são indicados na Figura 8 como 802 e 804 respectivamente. A funcionalidade em 802 mostra uma forte assinatura de influxo de gás na

perfuração (isto é uma barra longa comparada com as outras barras de gás) e a água adicionada pela perfuração é quase mínima quando se considera a altura das outras barras de água. Em outras palavras, esta perfuração está produzindo atualmente uma saída útil. Considerando a segunda perfuração, indicada em 804, a produção de gás aqui é relativamente pequena, levemente mais do que um terço do gás produzido em 802, mas global, a perfuração está produzindo mais gás do que uma grande proporção das perfurações. No entanto, a proporção de água contribuída para esta perfuração é alta – maior do que qualquer outra perfuração.

[00097] Portanto, o operador de poço pode revisar de maneira crítica a economia de manter esta perfuração aberta. Isto vai incluir os custos associados com o tratamento da água produzida (que pode variar de maneira considerável dependendo de se a água precisa ser removida sobre a terra ou pode ser bombeada de volta para o poço, etc.), o custo aumentado associado com a separação de gás a partir da água, bem como o valor de gás produzido. Isto pode ser feito em conjunto com outros cálculos que se referem à eficiência do poço, usando técnicas conhecidas. Portanto, a informação de influxo de gás e água calculada como descrito aqui pode formar parte de um sistema de gerenciamento de poço, que pode considerar outros fatores ou medições.

[00098] Variações para as modalidades descritas acima vão ocorrer para o perito e estão dentro do escopo da invenção. Por exemplo, enquanto detecção de temperatura no estilo ‘DAS’ (isto é detecção de temperatura com base em retroespalhamento de Rayleigh em uma fibra óptica não modificada) foi descrito acima, qualquer técnica de detecção de temperatura que é suficientemente sensível e reativo para detectar alterações de temperatura pequenas e breves devido à passagem de tampão podem ser usadas. Será percebido que, na presente invenção, mudanças de temperatura ao invés de uma temperatura absoluta são de interesse. Como as técnicas de “DAS”

descritas acima produzem um indicativo de sinal linear de alteração de temperatura, é particularmente conveniente. No entanto, por exemplo, detecção de DTS, em que radiação óptica de maior potência é usada para interrogar uma fibra para produzir retroespalhamento de Raman e Brillouin pode ser usada, que são indicativas de um valor de temperatura real. Alternativamente, termômetros podem ser posicionados dentro do poço, tanto no lugar de quanto para suplementar as técnicas de temperatura de “DAS” descritas aqui.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para obtenção de uma indicação de influxo de fluido em uma seção de um poço de gás (400) tendo múltiplas perfurações (404) através das quais fluidos compreendendo gás e/ou líquido entram no poço (400), o método caracterizado pelo fato de que compreende as etapas de:

(i) monitorar a temperatura em uma pluralidade de localizações dentro da seção do poço de gás (400), as localizações compreendendo (a) um primeiro conjunto de localizações, na ou próximo de uma perfuração (404); e (b) um segundo conjunto de localizações em que a temperatura é substancialmente independente dos efeitos de influxo de gás em uma perfuração (404) em que a etapa de monitorar é executada monitorando o retroespalhamento em uma fibra óptica (101) adequada para uso em um aparelho de Detecção Acústica Distribuída;

(ii) determinar uma indicação de excursões de temperatura nas localizações;

(iii) obter uma indicação do influxo de fluidos para o poço (400) relacionando as indicações de excursões de temperatura a partir do segundo conjunto de localizações para influxo de líquido e relacionar as indicações de excursões de temperatura a partir do primeiro conjunto de localizações para influxo de gás e líquido.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o segundo conjunto de localizações compreende localizações entre as perfurações (404).

3. Método de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que o método compreende determinar uma indicação de influxo de água e/ou gás a partir de pelo menos uma perfuração (404).

4. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o método compreende determinar uma indicação de influxo de gás a partir de pelo menos uma perfuração.

5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que as excursões de temperatura são monitoradas por um período de tempo, e a etapa de determinação de uma indicação de excursões de temperatura compreendem um ou mais de: somar flutuações de temperatura, medir flutuações de temperatura, interagir energia de sinal que surge das flutuações de temperatura detectadas pelo dito período.

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que pelo menos um do segundo conjunto de localizações está acima de todas as perfurações (404) de poço para prover uma estimativa de uma excursão de temperatura devido ao volume total de água produzida pelo poço (400).

7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente obter uma medição do volume total de gás produzido pela seção do poço, e estimar adicionalmente o volume de influxo de gás em cada perfuração (404) em referência ao volume total de gás e as indicações relativas do influxo de gás.

8. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que o primeiro conjunto de localizações compreende localizações em cada perfuração da seção do poço.

9. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que compreende determinar a seção do poço em que para aplicar o método, a seção compreendendo uma seção em que a velocidade com a qual fluido sobe através do poço (400) é substancialmente constante.

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado pelo fato de que compreende determinar a seção do poço em que para aplicar o método, a seção compreendendo uma seção que é livre de líquido permanente.

11. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações

anteriores, caracterizado pelo fato de que o influxo de líquido é estimado considerando a indicação de excursões de temperatura em cada uma do segundo conjunto de localizações como sendo proporcional a:

$$dT_{\text{tampão}} \times \sum_{i=1}^n w_{\text{perf } n_i}$$

onde $dT_{\text{tampão}}$ é a diferença de temperatura entre líquido subindo no poço (400) naquela localização e a temperatura de equilíbrio naquele ponto, n é a enésima perfuração (404) na seção do poço (400), e $\sum_{i=1}^n w_{\text{perf } n_i}$ é a quantidade total de líquido no poço (400) que passa naquela localização.

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores caracterizado pelo fato de que o influxo de líquido e gás são estimados considerando a indicação de excursões de temperatura em cada uma do primeiro conjunto de localizações como sendo proporcional a:

$$[dT_{\text{perf } n} + dT_{\text{tampão}}] \times \sum_{i=1}^n w_{\text{perf } n_i}$$

onde n é a enésima perfuração (404) na seção do poço (400), $dT_{\text{perf } n}$ é a diferença de temperatura a partir de uma temperatura de equilíbrio devido ao influxo de gás perfuração n , $dT_{\text{tampão}}$ é a diferença de temperatura entre líquido subindo no poço (400) naquele ponto e a temperatura de equilíbrio naquela localização, e $\sum_{i=1}^n w_{\text{perf } n_i}$ é a quantidade total de líquido no poço (400) que passa naquela localização.

13. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores caracterizado pelo fato de que a temperatura é determinada em pelo menos uma localização.

14. Aparelho de Detecção Acústica Distribuída para obtenção de uma indicação de influxo de fluido em uma seção de um poço (400) de gás tendo múltiplas perfurações (404) através das quais fluidos compreendendo gás e/ou líquido entram no poço (400), caracterizado pelo fato de que compreende:

(i) uma fibra óptica (101), arranjada ao longo do comprimento da seção do poço;

(ii) uma unidade de interrogador (100) arranjada para interrogar a fibra (101) com radiação óptica e para detectar qualquer radiação retroespalhada dentro da fibra óptica (101);

(iii) circuito de processamento (107) arranjado para processar os sinais detectados para determinar uma indicação de excursões de temperatura em (a) um primeiro conjunto de localizações, na perfuração (404) ou próximo de uma perfuração (404) e (b) um segundo conjunto de localizações em que a temperatura é substancialmente independente do efeito de influxo de gás em uma perfuração (404);

(iv) em que os circuitos de processamento (107) são arranjados adicionalmente para determinar uma indicação do influxo de fluidos para o poço (400) relacionando as indicações de excursões de temperatura a partir do segundo conjunto de localizações para influxo de líquido e relacionar as indicações de excursões de temperatura a partir do primeiro conjunto de localizações para influxo de gás e líquido.

15. Aparelho de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a unidade de interrogador (100) compreende

(i) uma fonte óptica configurada para, em uso, lançar uma série de interrogações, cada interrogação compreendendo um par de pulso (201, 202), em uma fibra óptica (101), em que os pulsos de um par de pulso (201, 202) são introduzidos para a fibra óptica (101) com um intervalo de tempo entre eles;

(ii) um detector de amostragem (105) configurado para, em uso, amostrar radiação que é retroespalhada de Rayleigh a partir de dentro da dita fibra óptica (101) a partir das interrogações; e

os circuitos de processamento (107) são configurados para determinar qualquer modulação de fase nas amostras.

16. Aparelho de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que os circuitos de processamento compreendem pelo menos um filtro de passa baixa arranjado para isolar componentes da modulação de fase determinada abaixo de uma frequência limite.

17. Aparelho de acordo com a reivindicação 15 ou 16, caracterizado pelo fato de que o detector de amostragem (105) está configurado para tirar amostra de radiação retroespalhada substancialmente ao mesmo tempo após o lançamento de cada par de pulso (201, 202), e os circuitos de processamento (107) são arranjados para formar pelo menos um sinal de canal compreendendo amostras da radiação retroespalhada adquirida substancialmente ao mesmo tempo após o lançamento de cada par de pulso (201, 202); e o dito sinal de canal é desmodulado para determinar a modulação de fase para o sinal de canal.

18. Aparelho de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que o sinal de canal é um sinal de portador modulado por fase produzido a partir da interferência entre radiação retroespalhada a partir de cada par de pulso (201, 202) da série de pares de pulso (201, 202).

19. Aparelho de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que os circuitos de processamento (107) são arranjados para desmodular o sinal de canal para derivar termos Em Fase e de Quadratura a partir do mesmo.

20. Aparelho de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que pelo menos um filtro de passa baixa (30, 305) é arranjado para filtrar os termos Em Fase e de Quadratura.

21. Aparelho de acordo com qualquer uma das reivindicações 15 a 20, caracterizado pelo fato de que a fonte óptica compreende um laser (102) e os circuitos de processamento (107) são arranjados para estimar ruído de fase de laser.

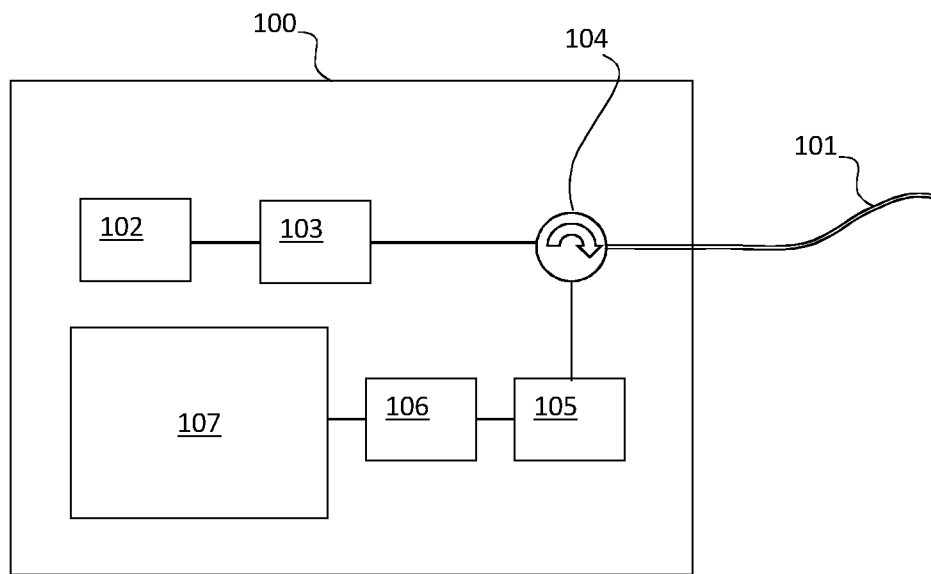


Fig. 1

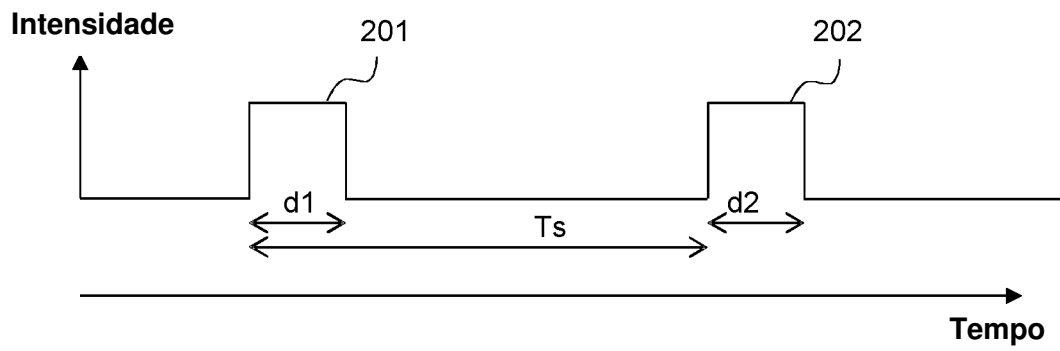


Fig. 2

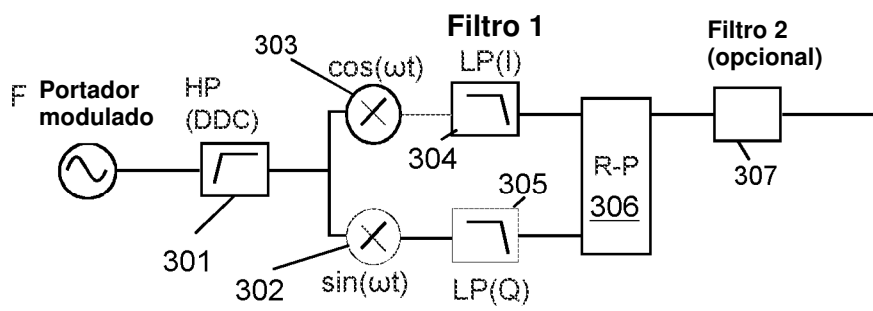


Fig.3

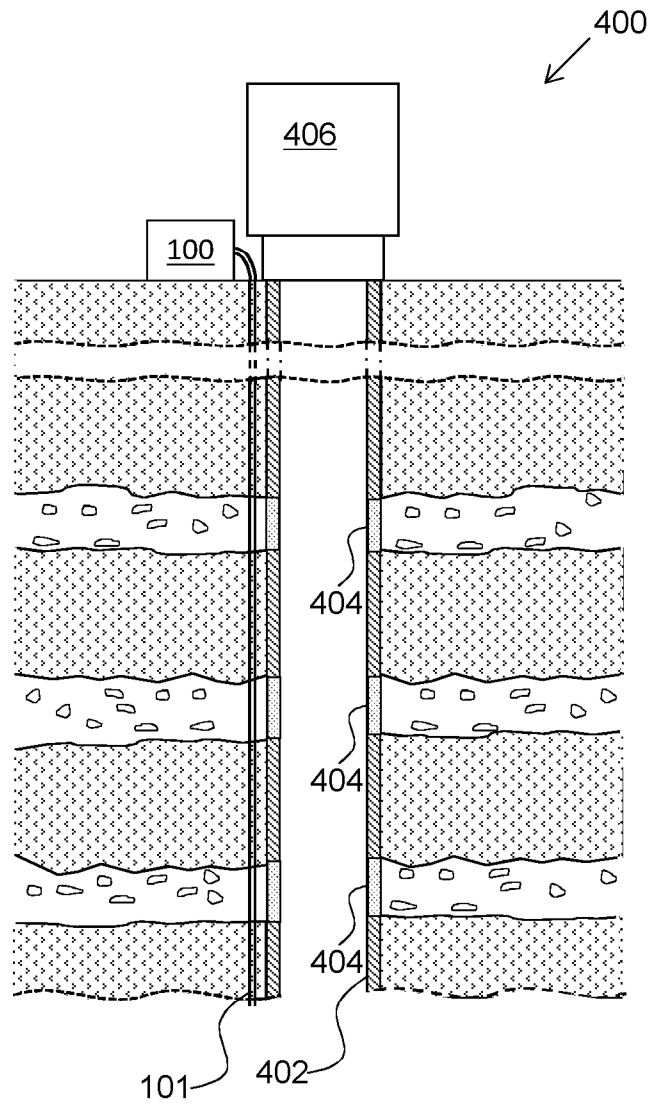


Fig.4

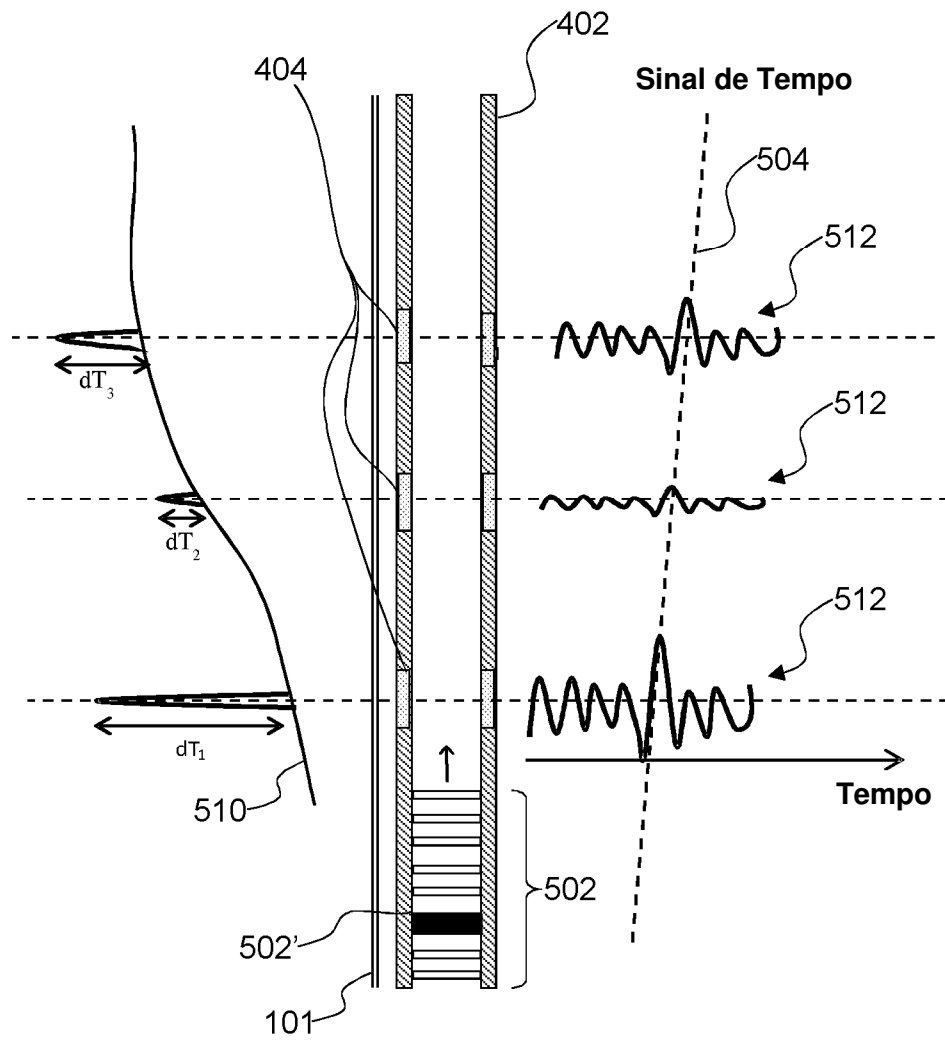


Fig.5

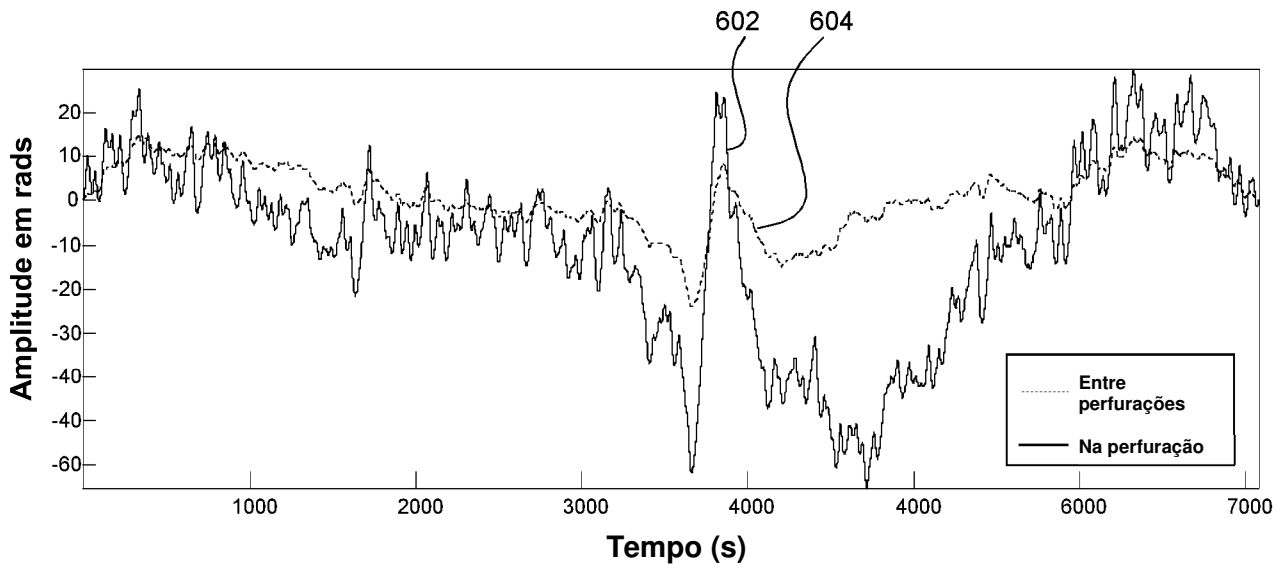


Fig. 6

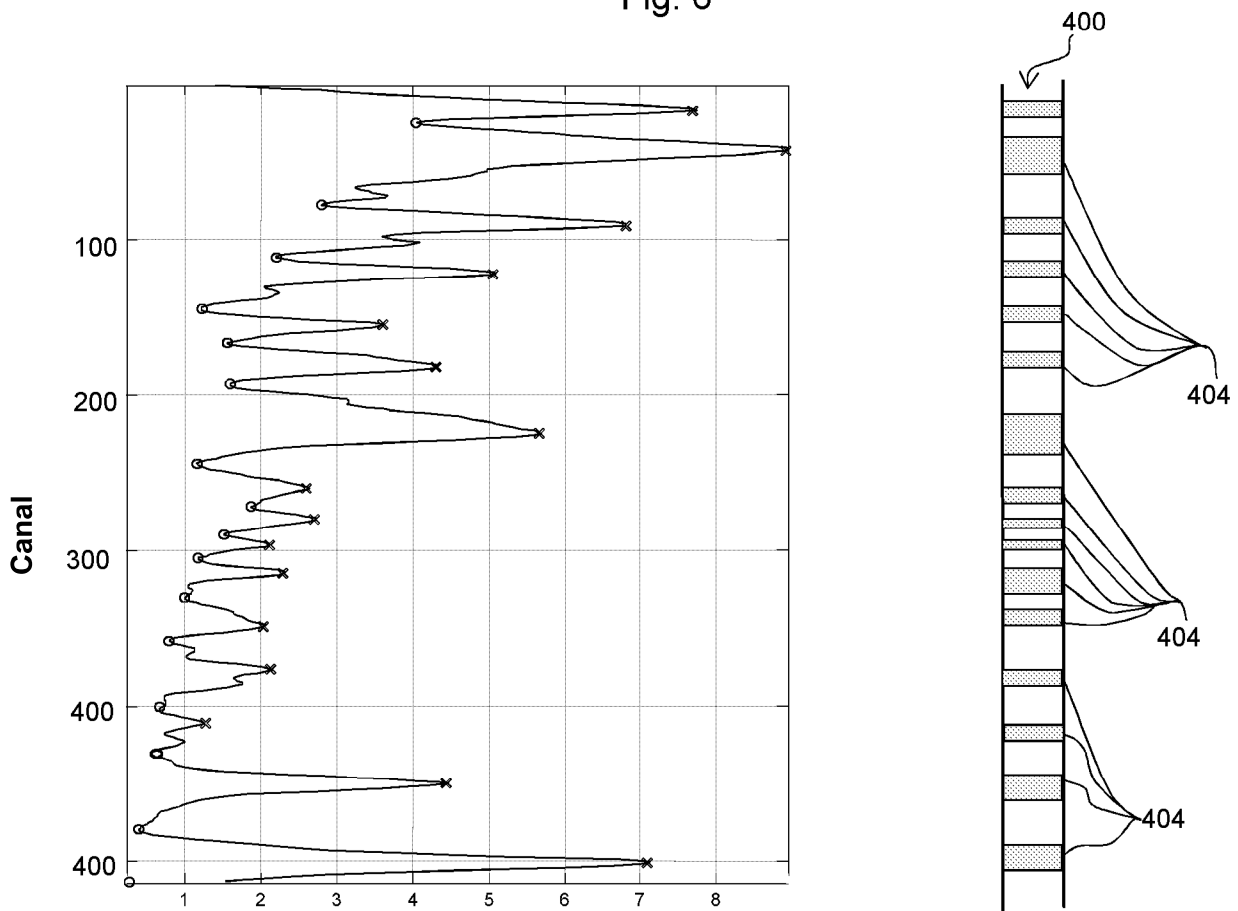


Fig. 7

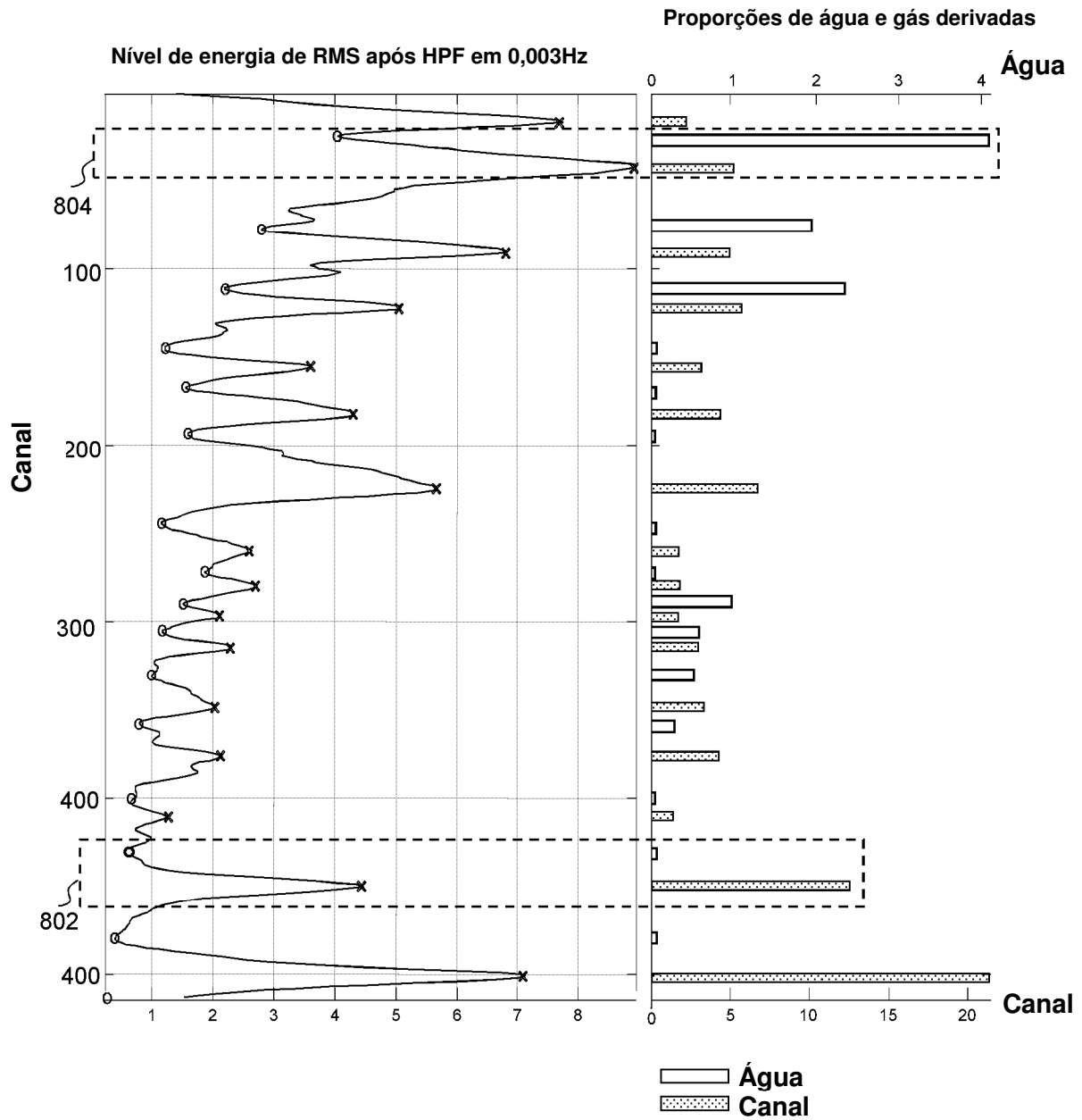


Fig. 8