

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

(21) **PI0611579-9 A2**



* B R P I O 6 1 1 5 7 9 A 2 *

(22) Data de Depósito: 26/06/2006
(43) Data da Publicação: 22/02/2011
(RPI 2094)

(51) *Int.Cl.:*
G06N 3/02
G01V 5/04

(54) Título: **MÉTODO DE REGISTRO, MEIO PORTADOR DE INFORMAÇÃO, E, SISTEMA DE REGISTRO**

(30) Prioridade Unionista: 24/06/2005 US 11/165,892, 09/11/2005 US 11/270,284, 09/11/2005 US 11/270,284, 24/06/2005 US 11/165,892

(73) Titular(es): HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.

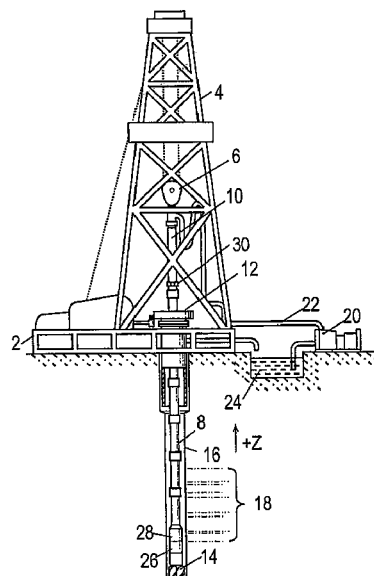
(72) Inventor(es): Dingding Chen, Harry D. Smith, Jr., Jeffery L. Grable, John A. Quirein

(74) Procurador(es): MOMSEN, LEONARDOS & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2006025029 de 26/06/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/002693 de 04/01/2007

(57) Resumo: MÉTODO DE REGISTRO, MEIO PORTADOR DE INFORMAÇÃO, E, SISTEMA DE REGISTRO. Sistemas e métodos de registro são revelados para reduzir o uso de fontes radioisotópicas. Alguns modos de realização compreendem coletar pelo menos um registro de saída de um furo de poço de treinamento de medições com uma fonte radioisotópica; coletar pelo menos um registro de entrada do furo de poço de treinamento de medições por uma ferramenta de registro não-radioisotópica; treinar uma rede neural para prever o registro de saída de pelo menos um registro de entrada; coletar pelo menos um registro de entrada de um furo de poço de desenvolvimento de medições pela ferramenta de registro não-radioisotópica; e processar o pelo menos um registro de entrada do furo de poço de desenvolvimento para sintetizar pelo menos um registro de saída do furo de poço de desenvolvimento. Os registros de saída podem incluir registros de densidade de formação e de porosidade de nêutron.



“MÉTODO DE REGISTRO, MEIO PORTADOR DE INFORMAÇÃO, E, SISTEMA DE REGISTRO”

DECLARAÇÃO RELATIVA A PESQUISA OU DESENVOLVIMENTO FINANCIADOS PELO GOVERNO

5 Não aplicável.

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS CORRELATOS

O presente pedido reivindica prioridade para o pedido de patente co-pendente US 11/165.892, depositado em 24 de junho de 2005, e intitulado “Ensembles of Neural Networks with Different Input Sets”, dos inventores Dingdig Chen, et al.

FUNDAMENTOS

Na busca por reservas de hidrocarboneto, as companhias empregam muitas técnicas de coleta de dados. Os dados mais detalhados, embora localizados, vêm a partir da perfilagem de poço. Durante os processos de perfuração de poço, ou rapidamente depois da mesma, são passados instrumentos através do poço para coletar informação acerca das formações através das quais o poço passa. A informação é tradicionalmente coletada na forma de “perfil”, ou seja, uma tabela ou diagrama de valores de dados medidos como uma função da posição de instrumento. A informação mais procurada refere-se à localização e acessibilidade dos gases e fluidos de hidrocarboneto.

Perfis de resistividade, densidade e porosidade a nêutron têm provado ser particularmente úteis para determinar a localização dos gases e fluidos de hidrocarboneto. Esses perfis são perfis de “poço aberto”, ou seja, as medições de perfil são tomadas antes da face de formação ser vedada com o revestimento de aço de tubular. A resistividade pode ser medida em uma quantidade de modos que não são importantes aqui. A densidade é tradicionalmente medida determinando-se a dispersão e absorção de raios gama emitidos a partir de uma fonte de raio gama rádio-isotópica. A

porosidade a nêutron é comumente medida determinando-se a dispersão dos nêutrons provenientes dos núcleos de hidrogênio na formação. (A porosidade a nêutron é primariamente uma medição da concentração de hidrogênio, e o hidrogênio aparece predominantemente em fluidos contidos nos poros de formação). As medições de porosidade a nêutron e densidade podem ser combinadas para prover estimativas aperfeiçoadas da porosidade de formação.

Os nêutrons para a medição de porosidade são nêutrons de energia relativamente baixa supridos por uma fonte de nêutron rádio-isotópica. Como usado aqui, o termo “fonte rádio-isotópica” se refere àquelas fontes de partículas alfa, partículas beta, raios gama ou nêutrons que dependem da decadência natural de um isótopo radioativo. O césio 137 é um exemplo de uma fonte rádio-isotópica que produz partículas beta e raios gama. O amerício 241 é um exemplo de uma fonte rádio-isotópica que produz partículas alfa e raios gama. Um outro exemplo de uma fonte rádio-isotópica é a combinação do amerício 241 com berílio 9. Quando o berílio absorve uma partícula alfa proveniente da decadência do amerício, um átomo de carbono é formado e um nêutron é emitido. (Porque essa fonte rádio-isotópica confia em uma combinação de elementos, ela, às vezes, é referida como uma fonte química). Desse modo, a fonte de Am/Be emite partículas alfa, raios gama e nêutrons. A fonte de Am/Be é primariamente usada para medições de porosidade a nêutron, mas porque as interações de nêutron com os núcleos de formação geram raios gama secundários, a fonte de Am/Be também pode ser usada para medições de perfilagem de densidade que confiam na atenuação de raio gama.

Fontes rádio-isotópicas apresentam determinados riscos para a saúde humana e elas podem ser um ingrediente primário nas armas do terrorismo. Mesmo em operações de campo de rotina, os trabalhadores de campo petrolífero envolvidos encontram riscos de exposição à radiação a

partir do uso dessas fontes. Quando expostos à radiação suficiente a partir dessas fontes, humanos experimentam dano celular que pode causar câncer e (em altas doses) doença por radiação. Esses efeitos adversos para a saúde são freqüentemente letais. Os materiais de fonte descritos acima têm meias-vidas longas (30 anos para o cézio 137, e 5300 anos para o amerício 241), significando que a radiação a partir dessas fontes persistirá por um tempo muito longo se elas forem dispersas acidentalmente ou intencionalmente no ambiente.

Não deveria surpreender, então, descobrir que o governo regula pesadamente a posse e o transporte de fontes rádio-isotópicas. Ver, por exemplo, a 10 CFR Parte 1 – Parte 1060 (regulamentações a partir da NRC e DOE) e o Registro Federal volume 70, número 44, de 28 de julho de 2005 (Mudanças de regra propostas para a 10 CFR Partes 20, 32, e 150, que dizem respeito ao Banco de dados de Rastreamento de Fonte Nacional). Essas regulamentações impõem custos consideráveis para estabelecer e manter a obediência. Apesar dessas regulamentações, os autores estão inclinados a entender que, em média, pelo menos uma dessas fontes rádio-isotópicas é perdida ou roubada a cada ano. Ver, por exemplo, Russel Gold e Robert Block, “Radioactive Material Is Stolen From Halliburton”, 6 de março de 2003 (examinando o roubo de uma fonte rádio-isotópica e os perigos de uma bomba suja).

Em adição, procedimentos de segurança extensivos são necessários para proteger os trabalhadores que transportam, armazenam e usam fontes rádio-isotópicas. A radiação a partir dessas fontes pode produzir calor, ionização e mudanças químicas que conduzem à corrosão dos recipientes de armazenamento. Testes de “limpeza” regulares são conduzidos para monitorar as fontes para vazamento, sensores de radiação são colocados dentro de instalações de armazenamento para monitorar os níveis de radiação, e são dados crachás sensíveis à radiação aos empregados para monitorar os

níveis de exposição de empregado. Cumulativamente, os testes, equipamento de monitoração, o transporte e as instalações de armazenamento apresentam um impacto orçamentário severo para aquelas companhias que empregam essas fontes.

5 Além disso, quando os esforços de obediência são combinados com os procedimentos de segurança necessários, o resultado é um esforço considerável e atraso em obter uma fonte rádio-isotópica para a localização no campo onde ela é necessária. Para compor adicionalmente o problema, as fontes rádio-isotópicas preferidas têm pouca oferta. O maior supridor de
10 amerício 241 era o Departamento de Energia dos Estados Unidos, que acumulou uma reserva desse material a partir de várias operações de refinamento sobre outros materiais radioativos. Essas reservas agora estão exauridas e, correntemente, a única fonte que continua desse material é um reator regenerador envelhecido na Europa do leste.

15 DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

Um entendimento dos modos de realização revelados pode ser obtido quando a descrição detalhada a seguir for considerada em conjunto com os desenhos a seguir, nos quais:

20 a Figura 1 é uma vista ilustrativa de um ambiente de perfilagem durante a perfuração (LWD);

a Figura 2 é uma vista ilustrativa de um ambiente de perfilagem por cabo de perfuração;

a Figura 3 é um fluxograma de um método de perfilagem ilustrativo tendo uso reduzido das fontes rádio-isotópicas;

25 a Figura 4 mostra perfis ilustrativos derivados a partir de ferramentas sem uma fonte rádio-isotópica;

a Figura 5 mostra porosidade a nêutron e perfis de densidade ilustrativos tipicamente derivados de ferramentas de perfilagem com fontes rádio-isotópicas;

a Figura 6 mostra um processo de transformação ilustrativo para prever a porosidade a nêutron e os perfis de densidade a partir dos perfis das ferramentas sem uma fonte rádio-isotópica;

a Figura 7 mostra um conjunto de rede neural ilustrativo;

5 a Figura 8 mostra um método ilustrativo de criar uma combinação de recursos das redes neurais treinadas;

a Figura 9 mostra um método ilustrativo de criar um conjunto de rede neural;

10 a Figura 10 mostra um diagrama de bloco ilustrativo de um computador para implementar os métodos revelados aqui;

a Figura 11 compara perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica para perfis preditos ilustrativos em uma formação de “areia gasífera”; e

15 a Figura 12 ilustra o uso dos perfis preditos para rastrear a evolução de reservatório.

Embora a invenção seja suscetível a várias modificações e formas alternativas, modos de realização específicos da mesma são mostrados a título de exemplo nos desenhos e serão descritos aqui em detalhe. Deve ser entendido, entretanto, que os desenhos e a descrição detalhada dos mesmos

20 não são pretendidos para limitar a invenção à forma particular revelada, mas, pelo contrário, a intenção é cobrir todas as modificações, equivalentes e alternativas recaindo dentro do espírito e do escopo da presente invenção como definida pelas reivindicações anexas.

DESCRIÇÃO DETALHADA

25 Os problemas delineados nos fundamentos são, na maior parte, tratados pela perfilagem e os métodos de completação de poço, como revelados aqui. Em vários modos de realização, os métodos revelados provêm perfis de densidade e/ou porosidade a nêutron precisos enquanto minimizam o uso da fonte rádio-isotópica. Em pelo menos alguns casos, os

perfis de densidade e porosidade a nêutron obtidos são mais precisos do que seria esperado a partir das medições de fonte rádio-isotópica, particularmente as medições com fontes rádio-isotópicas em um ambiente de perfilagem durante a perfuração (LWD).

5 A Figura 1 mostra um ambiente ilustrativo para perfurar um poço. Uma plataforma de perfuração 2 suporta um guindaste 4 tendo um bloco de deslocamento 6 para levantar e abaixar uma coluna de perfuração 8. Uma kelly 10 suporta a coluna de perfuração 8 à medida que ela é abaixada através de uma mesa giratória 12. Uma broca de perfuração 14 é conduzida
10 por um motor dentro do poço e/ou a rotação da coluna de perfuração 8. À medida que a broca 14 gira, ela cria um poço 16 que passa através de várias formações 18. Uma bomba 20 circula fluido de perfuração através de um tubo de alimentação 22 para a kelly 10, dentro do poço através do interior da coluna de perfuração 8, através de orifícios na broca de perfuração 14, de
15 volta para a superfície via anel ao redor da coluna de perfuração 8, e para dentro de um fosso de retenção 24. O fluido de perfuração transporta cortes do furo de poço no interior do fosso 24.

Um ou mais instrumentos de LWD são integrados em uma ferramenta de perfilagem 26 localizada próxima à broca 14. À medida que a
20 broca estende o poço através das formações, a ferramenta de perfilagem 26 coleta medições relacionando várias propriedades de formação, bem como a posição de broca e várias outras condições de perfuração. A ferramenta de perfilagem 26 pode tomar a forma de um colar de perfuração, ou seja, um tubular de parede espessa que provê peso e rigidez para ajudar o processo de
25 perfuração. Um sub de telemetria 28 pode ser incluído para transferir as medições de ferramenta para um receptor de superfície 30 e para receber comandos a partir do receptor de superfície.

Uma vez que um poço tenha sido perfurado, o poço 16 pode ser revestido com o revestimento 34, como mostrado na Figura 2, para

preservar a integridade do furo e impedir perda de fluido para dentro das formações porosas ao longo do caminho de furo de poço. Tipicamente, o revestimento é permanentemente cimentado no lugar para maximizar a longevidade do furo de poço e para impedir comunicação fluídica indesejada entre as formações. As operações de perfilagem subseqüentes podem ser conduzidas usando uma ferramenta de perfilagem por cabo de perfuração 36, ou seja, uma sonda de instrumento de sensoriamento suspensa por um cabo 42 tendo condutores para transportar energia para a ferramenta e telemetria a partir da ferramenta para a superfície. Uma instalação de perfilagem 44 coleta medições a partir da ferramenta de perfilagem 36 e, tipicamente, inclui computar instalações para processar e armazenar as medições reunidas pela ferramenta de perfilagem.

A ferramenta de perfilagem por cabo de perfuração 36 pode incluir uma ou mais ferramentas de perfilagem como uma ferramenta de captura de nêutron pulsada (PNC). As ferramentas de PNC operam acelerando os íons de deutério em um alvo que inclui trítio e, possivelmente, deutério. A energias suficientemente altas, os núcleos se fundirão, produzindo um átomo de hélio que prontamente ejeta um nêutron de alta energia. Os nêutrons de alta energia viajam para dentro da formação circundante, onde eles impactam os núcleos de formação. Frequentemente, os nêutrons são capturados, fazendo os raios gama de “captura” serem emitidos. Alternativamente, os nêutrons de alta energia se dispersam a partir dos núcleos inelasticamente, fazendo raios gama “inelásticos” serem emitidos.

Em qualquer evento, o espectro de energia e/ou a taxa de decadência dos raios gama emitidos podem ser medidos e analisados para identificar as proporções de carbono/oxigênio (usando os raios gama inelásticos) ou seções transversais de captura de formação (usando os raios gama de captura). Em combinação com as medições a partir das ferramentas de fonte rádio-isotópica, as medições de ferramenta de PNC são indicativas da

saturação de óleo ou água na formação.

A informação de perfilagem é pretendida para caracterizar as formações 18, de modo a localizar os reservatórios de óleo, gás, ou outros fluidos de subsolo, e de modo a prover dados para o uso nos estudos de correlação de campo e para assistir na interpretação de dados sísmicos. Sempre que possível, a perfilagem é realizada em condições não revestidas (“furo aberto”) porque a ferramenta de perfilagem pode conseguir contato mais próximo com a formação e porque algumas das medições de furo aberto desejadas são afetadas adversamente pelo revestimento e/ou cimento em um furo de poço revestido. Entretanto, o ambiente de perfilagem de furo aberto é de um pouco mais hostil do que o ambiente de furo revestido, visto que o poço tem menos integridade.

As ferramentas são freqüentemente capturadas dentro do poço pela decomposição das paredes de poço. No caso das ferramentas de fonte rádio-isotópica, a captura de uma ferramenta apresenta causa particular de preocupação. Se puder ser mostrado que a ferramenta não apresenta risco de contaminação de reservatório de água, a companhia de serviços pode escolher cimentar o poço fechado para impedir qualquer possibilidade da ferramenta ser recuperada por partes maldosas e evitar os riscos de exposição à radiação para as pessoas próximas ao local de poço. (Diferente de outras ferramentas capturadas, onde as operações de recuperação ou liberação podem quebrar uma ferramenta em pedaços sem risco significativo para as pessoas, as ferramentas rádio-isotópicas devem ser recuperadas inteiras para impedir a possível dispersão dos materiais rádio-isotópicos).

Em vista da escassez de suprimento e dos vários riscos apresentados pelo uso das fontes rádio-isotópicas, é desejável reduzir seu uso na perfilagem de poço. Entretanto, as medições de porosidade a nêutron e densidade providas por essas ferramentas são particularmente desejáveis de se ter. A grande maioria dos poços de desenvolvimento está sendo perfurada em

áreas onde um entendimento maduro da geologia de bacia foi estabelecido. Nessas circunstâncias, as fontes rádio-isotópicas podem ser usadas em um número limitado de poços de treinamento para ajustar uma linha de base a partir da qual os perfis sintéticos de densidade e/ou porosidade a nêutron podem ser gerados.

A Figura 3 é um fluxograma de um método ilustrativo para perfilar e completar um poço com o uso reduzido das fontes rádio-isotópicas. Começando com o bloco 300, os dados de poço de treinamento são coletados. Os dados coletados incluem os perfis de porosidade a nêutron e densidade desejados derivados a partir das medições por meio das fontes rádio-isotópicas, junto com vários perfis de furo revestido e aberto a partir das ferramentas sem uma fonte rádio-isotópicas (por exemplo, os perfis das medições de ferramenta de PNC, medições de resistividade, medições sônicas, medições de ressonância magnética nuclear etc). Os dados de poço de treinamento precisam ser coletados somente a partir de um (ou, no máximo, de alguns) poço(s) em um dado campo. Portanto, as ferramentas de fonte rádio-isotópica podem ser eliminadas e todos os poços de desenvolvimento adicionais podem ser perfilados sem o uso de fontes rádio-isotópicas. Em alguns modos de realização de método, os perfis rádio-isotópicos obtidos a partir do(s) poço(s) de treinamento são perfis de cabo de perfuração (que são geralmente concedidos para ser mais precisos do que os perfis de LWD correspondentes), mesmo se os perfis que são sintetizados forem perfis rádio-isotópicos que teriam sido, de outro modo, coletados por uma ferramenta de LWD.

No bloco 302, um poço subsequente é perfilado por meio das ferramentas que não têm fontes rádio-isotópicas. A perfilagem pode ser feita durante o processo de perfuração por meio das ferramentas de LWD, ou os perfis de furo aberto podem ser reunidos usando ferramentas de cabo de perfuração. Os perfis que podem ser coletados incluem os perfis de

resistividade, os perfis de raio gama natural, os perfis de espectroscopia de raio gama induzido, os perfis sônicos, os perfis de ressonância magnética nuclear (NMR), os perfis de potencial espontâneo, os parâmetros de perfuração (tais como peso sobre a broca, torque sobre a broca, taxa de penetração) e dados de perfilagem de lama ou núcleo.

No bloco 304 é feita uma determinação de se os perfis a partir do bloco 302 são indicativos da presença de hidrocarbonetos suficientes para justificar a completação do poço. Por exemplo, os perfis sônicos podem prover a base para estimativas de porosidade, enquanto um perfil de resistividade provê uma base para distinguir água de solo dos hidrocarbonetos. Uma indicação dos hidrocarbonetos nas áreas de porosidade suficiente pode servir como uma base para determinar que uma completação de poço seja justificada.

Se justificada, o poço é revestido no bloco 306. No bloco 308, a perfilagem com uma ferramenta de nêutron pulsado é realizada, se não for realizada anteriormente antes do revestimento do poço. (Onde essa tecnologia está disponível, a ferramenta de nêutron pulsado pode ser colocada na coluna de perfuração como um sensor de LWD). No bloco 310, os perfis a partir do perfil de nêutron pulsado e os perfis de furo aberto não rádio-isotópicos são usados para prever os perfis de porosidade a nêutron e densidade que teriam sido medidos pelas ferramentas que têm fontes rádio-isotópicas. Essa predição pode ser determinística ou pode confiar nas redes neurais e/ou nos algoritmos genéticos desenvolvidos usando a informação de perfil a partir do(s) poço(s) de treinamento. Com um conjunto de rede neural apropriadamente treinado e configurado, os perfis preditos em alguns casos podem ser esperados ter uma resolução e precisão maiores do que as que poderiam ser medidas por uma ferramenta com uma fonte rádio-isotópica, devido à resolução mais alta dos vários perfis de entrada, e seu aumento de profundidade da investigação relativa aos perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica. Na situação de

LWD, os perfis nucleares simulados são potencialmente mais precisos do que os verdadeiros perfis de LWD, visto que é bem conhecido que os perfis de LWD sofrem a partir das imprecisões devidas ao movimento e vibração da montagem dentro do poço que aloja os sensores de porosidade a nêutron e densidade. Os perfis de PNC com base em cabo de perfuração, quando usados na geração dos perfis simulados, não serão submetidos às fontes de erro relacionadas ao movimento de perfuração.

No bloco 312, os perfis preditos da porosidade a nêutron e da densidade, em conjunto com vários outros perfis, são usados para localizar precisamente os hidrocarbonetos produzíveis, para estimar a produtividade daqueles hidrocarbonetos, para prover informação para o uso subsequente nas correlações de poço para poço, para fornecer a informação usada na interpretação dos dados sísmicos, e para avaliar o efeito das várias configurações de completação. No bloco 314, o revestimento é perfurado em posições seleccionadas para completar o poço de acordo com a configuração de completação ótima.

A Figura 4 mostra perfis de furo aberto e fechado ilustrativos que podem ser derivados a partir das medições por meio das ferramentas de perfilagem sem uma fonte rádio-isotópica. Como mostrado, os perfis são um traçado do valor medido como uma função da profundidade. Alternativamente, esses perfis podem ser traçados como uma função do tempo ou uma função da posição ao longo do furo de poço. Os perfis mostrados são um perfil de resistividade de furo aberto (RESISTIVIDADE), um perfil de velocidade secundária em furo aberto (SECUNDÁRIO), e vários perfis medidos por uma ferramenta de PNC:

FTMD – perfil da taxa de cálculo de raio gama de captura total para um detector distante;

RTMD – perfil da razão de taxa de cálculo de raio gama de captura entre detectores;

RIN – perfil da razão de taxa de cálculo de raio gama inelástico entre detectores;

SGBN – perfil da seção transversal (sigma) para o furo de poço (próximo ao detector);

5 RTBF – perfil da razão das taxas de cálculo de captura a partir do furo de poço em relação às taxas de cálculo de captura a partir da formação.

Outros perfis de ferramenta de PNC úteis que não são mostrados na figura incluem:

10 NTMD – perfil da taxa de cálculo de raio gama de captura total para o detector próximo; e

GR – perfil da taxa de cálculo de raio gama natural.

As listas anteriores não são de modo algum exaustivas. Existem outras medições de ferramentas de perfilagem e de perfil de furo revestido potenciais, e podem ser coletadas e empregadas no processo de geração de perfil sintético se essas medições não forem coletadas durante a perfilagem de furo aberto. As ferramentas de perfilagem de nêutron pulsado podem ser substituídas com, ou suplementadas por outras ferramentas de furo revestido, por exemplo, ferramentas de perfilagem sônica (perfil de onda total
15 ou de compressão convencional ou secundária), ferramentas de espectroscopia de raio gama natural, ferramentas de perfilagem de resistividade de furo revestido, perfis de ligação de cimento, e ferramentas de perfilagem de produção. Qualquer uma dela pode ser analisada usando o fluxo de trabalho de faixas normal para identificar as condições de formação e
20 encontrar os conjuntos de zona e curva com os atributos específicos embandeirados. Os perfis de entrada podem, então, ser divididos com base na zona ou atributo para a análise dos dados a partir de ambientes semelhantes. Em qualquer evento, a lista dos sinais de entrada de candidato é baseada na aplicação particular à mão.
25

A Figura 5 mostra perfis de porosidade a nêutron e densidade derivados a partir das medições por meio de uma ferramenta com uma fonte rádio-isotópica. Para gerar esses perfis a partir das medições por meio de ferramentas sem fontes rádio-isotópicas, é desejável converter os perfis de ferramenta de fonte não rádio-isotópica para aproximações sintéticas de perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica.

A Figura 6 mostra um processo de transformação ilustrativo 406 que converte perfis de ferramenta de fonte não rádio-isotópica 402 para perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica sintéticos 404. Os valores de entrada para transformar o bloco 404 são aqueles valores de ferramenta de fonte não rádio-isotópica a uma dada profundidade 408. Para esse conjunto de valores de entrada, o bloco de transformação 406 produz um conjunto de valores de saída que são os valores de perfil de fonte rádio-isotópica sintético à dada profundidade 408. Os perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica através do intervalo de profundidade inteiro podem, desse modo, ser simulados repetindo-se a conversão a cada profundidade coberta pelos perfis de ferramenta de fonte não rádio-isotópica.

O bloco de transformação 406 pode empregar redes neurais e/ou algoritmos genéticos para realizar a conversão. Porque a quantidade de dados de treinamento é limitada em relação ao escopo operacional desejado, o bloco de transformação 406 pode empregar múltiplas redes neurais que são combinadas em um conjunto para prover um comportamento mais robusto tanto dentro quanto fora da região de treinamento.

A Figura 7 mostra uma combinação de recursos ilustrativa das redes neurais treinadas 502. As redes neurais na combinação de recursos são diferentes em pelo menos um aspecto, por exemplo, algumas das redes podem operar sobre diferentes subconjuntos dos sinais de entrada disponíveis. Por exemplo, uma rede neural na combinação de recursos pode operar sobre um subconjunto de três sinais de entrada, como RIN, RTMD, e SGFM, enquanto

uma outra rede neural opera sobre um subconjunto de cinco sinais de entrada, como GR, SECUNDÁRIO, RIN, RTMD, e SGFM. Os subconjuntos podem ser desarticulados ou eles podem se sobrepor, mas a experiência tem mostrado que essa diversidade de conjunto de entrada aperfeiçoa significativamente o desempenho do bloco de transformação 406. Em alguns modos de realização preferidos, os subconjuntos menores estão sempre contidos nos subconjuntos maiores.

Em adição a serem diversas nos sinais de entrada sobre os quais operam, as redes neurais também podem ser diversas de outros modos. Por exemplo, quando as redes neurais são baseadas em uma arquitetura de retropropagação (redes de retropropagação, ou “BPN”), um dos parâmetros de arquitetura é o número de nós na camada oculta. (Detalhes relativos ao projeto de BPN são muito difundidos na literatura. Ver, por exemplo, J.A. Freeman e D.M. Skapura, Neural Networks, © 1991, pela Addison Wesley, capítulo 3). Em alguns modos de realização, a combinação de recursos das redes neurais é diversa no número de nós na camada oculta. Por exemplo, cada uma das redes neurais mostrada na combinação de recursos 502 é acompanhada por um par ordenado indicando o tamanho do conjunto de sinal de entrada e o número de nós na camada oculta (assim, 3,10 indica três sinais de entrada e dez nós ocultos). Outros modos de construir uma combinação de recursos das diversas redes neurais incluem: treinar diferentes redes neurais em diferentes conjuntos de dados de treinamento; treinar diferentes redes sobre conjuntos de dados de treinamento diferentemente divididos; treinar a partir de estados iniciais; usar diferentes funções neurais; usar diferentes algoritmos de treinamento; e/ou usar diferentes parâmetros de arquitetura onde disponíveis.

Dada uma variação das diversas redes neurais, cada rede é treinada de acordo com o algoritmo de treinamento apropriado para obter a combinação de recursos 502. Um processo de seleção 504 (possivelmente

empregando um algoritmo genético) é, então, aplicado às redes neurais na combinação de recursos para montar um conjunto de rede neural otimizado. O bloco de transformação 406 mostrado na Figura 5 compreende cinco redes neurais 506, 508, 510, 512 e 514, extraídas da combinação de recursos 502. A

5 rede neural 506 opera sobre todos os oito sinais de entrada disponíveis e tem 25 nós na camada oculta. A rede neural 508 opera sobre todos os oito sinais de entrada disponíveis e tem 15 nós na camada oculta. A rede neural 510 opera sobre todas as entradas disponíveis, exceto SGBN e tem uma camada oculta de 15 nós. A rede neural 512 opera sobre os sinais de entrada NTMD,

10 RIN, RTMD, e SGFM, e tem uma camada oculta de 20 nós. Finalmente, a rede neural 514 opera sobre os sinais de entrada RIN, RTMD, e SGFM, e tem uma camada oculta de 10 nós.

Cada uma das redes neurais foi treinada para produzir duas saídas, cada saída correspondendo a um dos perfis de ferramenta de fonte

15 rádio-isotópica (densidade e porosidade a nêutron). Para cada perfil de ferramenta de fonte rádio-isotópica, uma unidade de saída correspondente 518, 520 faz a média do sinal de saída correspondente a partir das cinco redes neurais para produzir o perfil de ferramenta de fonte rádio-isotópica sintético correspondente. Em alguns modos de realização, as unidades de saída fazem

20 uma operação direta de determinar a média, enquanto os modos de realização alternativos realizam uma operação ponderada de determinar a média.

Em modos de realização alternativos, cada rede neural é treinada para produzir uma única saída, com diferentes redes sendo treinadas para produzir diferentes perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica

25 sintéticos. As saídas daquelas redes treinadas para um dado perfil de ferramenta de fonte rádio-isotópica são combinadas para sintetizar aquele perfil de ferramenta de fonte rádio-isotópica. Em ainda outros modos de realização de conjunto, redes neurais de múltiplas saídas são combinadas com redes neurais de saída única. Nesses modos de realização, cada unidade de

saída é associada a um perfil de ferramenta de fonte rádio-isotópica única e, conseqüentemente, combina somente aquelas saídas de rede neural que foram treinadas para predizer aquele perfil de ferramenta de fonte rádio-isotópica.

5 As arquiteturas de conjunto de rede neural, como aquelas descritas acima, quando construídas usando uma combinação de recursos apropriada (como uma construída de acordo com o método descrito abaixo com relação à Figura 8) e um processo de seleção apropriado 504 (como aquele descrito abaixo com relação à Figura 9), têm provado melhor desempenho em predizer perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica do que, 10 até mesmo, redes individuais melhor treinadas. A diversidade das redes componentes provê uma predição mais robusta fora das regiões de treinamento aplicadas às redes individuais.

A Figura 8 mostra um processo ilustrativo para criar uma combinação de recursos das redes neurais treinadas que têm uma diversidade 15 de conjuntos de sinal de entrada. No bloco 602, o processo começa com uma determinação dos sinais de entrada disponíveis. Por exemplo, pelo menos oito perfis de ferramenta de fonte não rádio-isotópica a partir da informação reunida por meio de uma ferramenta de perfilagem de PNC. Como um outro exemplo, os sinais de entrada disponíveis incluem os perfis de ferramenta de 20 fonte não rádio-isotópica derivados de uma combinação de ferramentas de perfilagem, de modo que, por exemplo, os sinais disponíveis incluam os perfis de PNC e um ou mais dos seguintes: perfis sônicos secundários e/ou de compressão, perfis de resistividade, perfis de ressonância magnética nuclear, perfis de espectroscopia de raio gama (natural ou induzido), e perfis de 25 produção. No bloco 604, um tamanho de subconjunto de entrada é escolhido. Em alguns modos de realização, o tamanho de subconjunto de entrada começa em um. Em alguns modos de realização alternativos, o tamanho de subconjunto de entrada inicia igual a um número especificado por usuário. Em alguns modos de realização, o conjunto de entrada inicial também é

especificado por usuário. Em todos os casos, os mesmos perfis a partir do poço de treinamento são usados para treinar as redes neurais como os perfis que estarão disponíveis no(s) poço(s) subsequente(s) onde é desejado eliminar as fontes rádio-isotópicas. Além disso, pode ser vantajoso (mas não obrigatório) ter os perfis coletados no poço de treinamento sob as mesmas condições de revestimento (ou seja, furo aberto versus furo revestido) como os perfis correspondentes obtidos nos poços subsequentes.

Os blocos 606-622 formam um circuito que é realizado para cada tamanho de subconjunto de entrada a partir do tamanho inicial ao tamanho máximo (o número de sinais de entrada disponíveis). Um circuito interno, compreendendo os blocos 608-618, é realizado para cada subconjunto de entrada de candidato do dado tamanho. A ordem na qual os subconjuntos de entrada de um dado tamanho são considerados não é importante. Em alguns modos de realização, entretanto, são colocadas restrições sobre quais subconjuntos de entrada de um dado tamanho são considerados. Por exemplo, em alguns modos de realização os subconjuntos de candidato de um dado tamanho incluem o “melhor” subconjunto do menor tamanho seguinte (“seleção gradativa”). Em ainda outros modos de realização alternativos, um processamento exaustivo de todos os subconjuntos de um dado tamanho é realizado para cada tamanho de subconjunto de entrada (“busca exaustiva”). Em ainda outros modos de realização alternativos, um algoritmo genético é usado como uma aproximação rápida da alternativa de processamento exaustivo (“seleção de entrada genética”) quando um grande número de entradas de candidato está disponível.

No bloco 606, um primeiro subconjunto de entrada do dado tamanho é escolhido. Na primeira iteração do circuito externo 606-622 (por exemplo, quando o tamanho se iguala a 1), os subconjuntos de entrada de candidato podem ser expressos como uma lista exaustiva de todos os subconjuntos daquele tamanho que podem ser feitos a partir do conjunto dos

5 sinais de entrada disponíveis. Em iterações subseqüentes do circuito externo, os subconjuntos de entrada de candidato podem ser restritos somente àqueles subconjuntos que incluem o subconjunto determinado para ser melhor na iteração de circuito precedente, ou seja, a seleção gradativa. Desse modo, por exemplo, se a primeira iteração de circuito externo determinar que o melhor subconjunto de entrada do tamanho 1 é {SGFM}, então, na segunda iteração do circuito externo, os subconjuntos de entrada de candidato em alguns modos de realização são restritos aos subconjuntos de entrada do tamanho 2 que incluem SGFM. A ordem na qual os subconjuntos de candidato são considerados não é importante.

10 No bloco 608, uma ou mais redes neurais são treinadas. Naqueles modos de realização em que a diversidade além da diversidade de conjunto de entrada é desejada, múltiplas redes neurais são treinadas no bloco 608. Por exemplo, a combinação de recursos 502 (Figura 7) incluiu redes neurais tendo entre 5 e 30 nós ocultos. Uma rede tendo cada número de nós ocultos é treinada no bloco 608 usando qualquer algoritmo de treinamento padrão, cada rede sendo opcionalmente treinada com uma partição diferente dos dados de perfil. (Em outras palavras, os dados de perfil podem ser divididos para conjuntos de dados de treinamento, validação e teste de 15 múltiplas maneiras, com uma maneira diferente sendo usada para cada rede neural). Os poços usados para derivar os dados de treinamento, validação e teste são chamados poços de treinamento. Os poços de treinamento têm sido perfilados antes e depois de serem revestidos. Em alguns modos de realização, pelo menos dois poços de treinamento são usados, com os perfis 20 de ferramenta de fonte rádio-isotópica e de ferramenta de fonte não rádio-isotópica provenientes de um poço (o “poço de teste”) sendo reservados para teste de validade posterior. Alternativamente, os dados provenientes de todos os poços são divididos para conjuntos de treinamento, validação e teste.

A percentagem dos dados nos conjuntos de treinamento,

validação e teste pode ser variada. Em alguns modos de realização, oitenta por cento de cada perfil de ferramenta de fonte não rádio-isotópica e as partes correspondentes dos perfis de ferramenta rádio-isotópica são aplicados em um algoritmo de treinamento de BPN. Dez por cento dos dados provenientes dos poços de teste são usados para a validação, ou seja, para a terminação de treinamento prematura se o desempenho cair para convergir. Finalmente, dez por cento dos dados de poço de teste são retidos a partir do treinamento para testar o desempenho no bloco 610. Essa decomposição de percentagem é abreviada como 80/10/10. Outras decomposições de percentagem que têm produzido sucesso são 60/15/25 e 70/10/20. Essas percentagens são sujeitas a mudança dependendo da situação de treinamento.

No bloco 610, uma medição de erro total é determinada para o subconjunto de entrada corrente. Em alguns modos de realização, o erro total é baseado na medição por rede do erro ao quadrado entre os perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica e os perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica verdadeiros. Nesses modos de realização, o erro total é a média das medições por rede para o conjunto de entrada corrente. Em modos de realização alternativos, o desempenho é medido com diferentes funções de erro.

No bloco 612, é feito um teste para ver se o erro total para o subconjunto de entrada corrente é menor do que aquele dos subconjuntos de entrada anteriores do mesmo tamanho. Se for assim, então, no bloco 614, as redes neurais treinadas para o conjunto corrente dos sinais de entrada são salvas como as “melhores” correntes. No bloco 616, é feito um teste para ver se há quaisquer outros subconjuntos de candidato do tamanho corrente. Se houver, então, no bloco 618, o subconjunto de entrada a seguir é determinado e uma outra iteração do circuito interno 608-618 é realizada. De outro modo, no bloco 620, é feito um teste para ver se há quaisquer outros tamanhos de conjunto de entrada. Se houver, no bloco 622, o tamanho de conjunto de

entrada é incrementado, e uma outra iteração do circuito externo 606-622 é realizada. Se não houver, o processo pára.

No final do processo ilustrativo da Figura 8, as redes neurais para os “melhores” conjuntos de entrada de cada tamanho foram armazenadas. Essas redes neurais “graduadas localmente”, ou seja, as redes neurais são as melhores redes neurais com os tamanhos especificados. Em alguns modos de realização alternativos, os blocos 612 e 614 podem ser substituídos com uma operação de armazenamento para salvar todas as redes neurais treinadas a partir do bloco 608 com seus respectivos erros de teste a partir do bloco 610. Essas redes neurais são “graduadas globalmente” depois de todos os subconjuntos de entrada experimentais serem testados. Visto que algumas das redes de melhor desempenho podem ter diferentes subconjuntos de entrada de um dado tamanho, o uso das redes neurais graduadas globalmente assegurará que nenhum dos candidatos promissores seja descartado.

Em adição à seleção gradativa, as redes neurais graduadas localmente e graduadas globalmente podem ser determinadas usando outras técnicas de busca, incluindo seleção gradativa inversa, busca exaustiva, e seleção de entrada genética. Se graduadas localmente ou globalmente, as redes neurais armazenadas são usadas como um ponto inicial para um processo de seleção 504.

A Figura 9 mostra um processo de seleção ilustrativo para construir e otimizar um conjunto de rede neural. Começando com o bloco 702, um tamanho de combinação de recursos é determinado. Para esse processo de seleção ilustrativo, o tamanho de combinação de recursos é de 2^n , com n sendo 5, 6 ou 7. Outros tamanhos de combinação de recursos podem ser usados. O tamanho de combinação de recursos é ajustado com base em uma troca entre querer assegurar diversidade suficiente na combinação de recursos e querer limitar a combinação de recursos às redes neurais com

desempenhos individuais aceitáveis. Quando usando um conjunto de rede neural graduada localmente, diversidade suficiente está disponível com um tamanho de combinação de recursos menor, enquanto para redes neurais graduadas globalmente, tamanhos de combinação de recursos são desejáveis.

5 Em alguns modos de realização de processo, o tamanho de combinação de recursos é ajustado, primeiro, encontrando o erro de teste mínimo a partir do conjunto das redes neurais armazenadas com o melhor conjunto unitário de entradas. Um limiar é, então, calculado multiplicando-se o erro de teste mínimo por um fator de escala na variação de, por exemplo, cerca de 1,1 a
10 1,5. O número de redes neurais armazenadas que têm um erro de teste (como uma função dos subconjuntos de entrada) abaixo desse limiar é determinado, e o tamanho de combinação de recursos é ajustado para ser a potência de dois que for maior do que, ou igual a esse número. A combinação de recursos é, então, formada a partir das redes neurais armazenadas de melhor desempenho
15 com diferentes subconjuntos de entrada.

No bloco 704, o processo de seleção determina o número de redes neurais que será usado para construir um conjunto. Este é um número programável a ser ajustado pelo usuário, mas é esperado que, para obter os benefícios de usar um conjunto sem incorrer em uma carga computacional
20 excessiva, o número esteja na variação a partir de três a dez redes neurais, com cinco sendo por falta.

Dado o tamanho da combinação de recursos e do conjunto, diferentes processos de seleção podem ser usados para obter e otimizar o conjunto de rede neural. Por exemplo, o processo de seleção pode
25 simplesmente ser selecionar aquelas redes com o melhor desempenho. Nos modos de realização ilustrados pela Figura 9, o processo de seleção é aquele descrito no pedido de patente US 10/811.403 (documento de procurador 2003-IP-012537 (1391-49300)), depositado em 26 de março de 2004, e intitulado “Genetic Algorithm Based Selection of Neural Network Ensemble

for Processing Well Logging Data”.

No bloco 706, uma população de conjuntos inicial construída aleatoriamente é determinada. O tamanho de população é ajustado pelo usuário e pode ser, por exemplo, de 50 conjuntos de rede neural. No bloco 5 708, um valor de adequação é determinado para cada conjunto de rede neural. No pedido ao qual é feita referência acima, o valor de adequação é calculado de acordo com uma função de objetivo múltiplo (“MOF”), por exemplo, uma soma ponderada de: uma medição de desempenho, uma medição de complexidade, e uma medição de correlação negativa. As ponderações de 10 cada um desses três componentes podem variar na variação de zero a um, com a soma das ponderações se igualando a um. A medição de desempenho é uma média do erro ao quadrado entre os perfis de furo aberto preditos e os perfis de furo aberto verdadeiros. A medição de complexidade é uma soma das ponderações ao quadrado no conjunto. A medição de correlação negativa é a 15 média das medições de correlação negativa individuais para as redes neurais no conjunto sobre múltiplas saídas e amostras de dados. A medição individual de cada saída para uma dada amostra é determinada encontrando-se (1) uma diferença entre a saída da rede neural individual e a saída de rede neural média do conjunto; (2) uma soma dessas diferenças para todas as outras redes 20 neurais no conjunto; e (3) o produto de (1) e (2). Detalhes adicionais podem ser encontrados no pedido ao qual é feita referência acima.

No bloco 710, o número de iterações de circuito (gerações) é comparado a um limiar. Se o número máximo de gerações não for encontrado, então, no bloco 712, uma nova população é determinada. A nova população é 25 determinada usando técnicas de algoritmo genético, tais como remover aqueles membros de população com os piores valores de adequação a partir da população, “reproduzindo” novos conjuntos por meio da combinação de redes neurais a partir dos conjuntos restantes, introduzindo “mutações” substituindo-se aleatoriamente uma ou mais redes neurais nos conjuntos

selecionados, e “imigrando” novos conjuntos de redes neurais aleatoriamente selecionadas.

Uma vez que o número máximo de gerações seja alcançado, um conjunto é selecionado a partir da população no bloco 714. Em alguns modos de realização, o conjunto selecionado é o conjunto com a melhor medição de adequação. Em outros modos de realização, o teste de validade é realizado e o conjunto selecionado é o conjunto com a melhor medição de desempenho. Tipicamente, depois do teste de validade, o conjunto pode ser disposto para uso geral com condições de formação semelhantes para converter a partir de perfis de ferramenta de fonte não rádio-isotópica para perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica sintéticos. Em outros modos de realização, os processos de treinamento e seleção são dispostos como partes de um pacote de software para determinar conjuntos feitos sob medida para a conversão de perfil.

É desejável (mas não obrigatório) ter dados completos a partir de pelo menos dois poços de treinamento com condições de formação semelhantes. Em alguns modos de realização, os dados a partir de um poço são reservados para o teste de validade de conjunto. Em outras palavras, o resto dos dados é usado para a seleção de subconjunto de entrada, geração da rede neural de candidato, e otimização de conjunto (na função de objetivo múltiplo). Outros modos de realização usam os dados a partir de um poço para a seleção de subconjunto de entrada e geração da rede neural de candidato. Os dados a partir dos primeiro e segundo poços são, então, combinados, com parte dos dados combinados sendo usados para a otimização de conjunto, e o restante dos dados combinados sendo usado para o teste de validade de conjunto. Em ainda outros modos de realização, os dados a partir de um poço são usados para a seleção de subconjunto de entrada e geração da rede neural de candidato. Os dados a partir do segundo poço são usados para a otimização de conjunto, então, um conjunto

combinado dos dados é usado para o teste de validade de conjunto. Em ainda outros modos de realização, parte do conjunto de dados combinados é usada para a seleção de subconjunto de entrada, geração de rede neural de candidato, e otimização de conjunto. O restante do conjunto de dados combinados é, então, usado para o teste de validade de conjunto.

O processo pode ser implementado como software em um computador de mesa para fins gerais ou em um servidor de alto desempenho. A Figura 10 mostra um diagrama de bloco funcional simplificado de um computador de mesa 802. O computador 802 se acopla a um mostrador 804 e a um ou mais dispositivos de entrada, como um teclado 806 e um dispositivo de indicação 808. O software que roda sobre o computador 802 configura o computador para interagir com um usuário via dispositivos de entrada e mostrador. Os meios portadores de informação, como dispositivos de armazenamento internos, discos portáteis ou outros dispositivos de armazenamento, e as conexões de rede, podem tornar esse software disponível para a execução pelo computador.

Os dispositivos de entrada 806, 808 são acoplados a uma interface periférica 810 que aceita sinais de entrada e os converte para uma forma adequada para as comunicações sobre o bus interno 812. O bus 812 acopla a interface periférica 810, um modem ou interface de rede 814, e um dispositivo de armazenamento interno 816 a uma ponte de bus 818. A ponte 818 provê comunicações de alta largura de banda entre o bus 812, um processador 820, a memória de sistema 822 e uma interface de exibição 824. A interface de exibição 824 transforma a informação a partir do processador 820 para um formato elétrico adequado para o uso pelo mostrador 804.

O processador 820, e, em conseqüência, o computador 802 como um todo, tipicamente opera de acordo com um ou mais programas armazenados sobre o dispositivo de armazenamento de informação 816. O processador 820 copia porções dos programas para a memória 222 para

acesso mais rápido, e pode comutar entre programas ou realizar programas adicionais em resposta à atuação de usuário do dispositivo de entrada. Os métodos revelados aqui podem tomar a forma de um ou mais programas executando no computador 802. Desse modo, o computador 802 pode realizar os processos de reunião de informação descritos com relação às Figuras 1-5, os processos de criação de combinação de recursos de rede neural descritos com relação à Figura 8, os processos de seleção descritos com relação à Figura 9, e os processos de transformação descritos com relação às Figuras 6-7.

A Figura 11 compara os perfis de ferramenta de fonte rádio-isotópica ilustrativos aos perfis preditos ilustrativos em um furo de poço que penetra uma formação de “areia gasífera”. Os perfis de porosidade a nêutron (NPHI) e de densidade (RHOB) são mostrados como uma função da profundidade, com os perfis preditos mostrados como linhas sólidas e os perfis medidos mostrados como linhas interrompidas. Os perfis preditos e medidos são observados ter uma concordância próxima, mostrando a exequibilidade dos vários modos de realização de método revelados.

A Figura 12 mostra dois traçados de sobreposição, nos quais o traçado de densidade (aumentando da esquerda para a direita) é sobreposto sobre o traçado de porosidade a nêutron (aumentando da direita para a esquerda). Onde a densidade diminui e a porosidade a nêutron diminui o suficiente para que os gráficos “se cruzem” (as regiões sombreadas escuras), pode-se esperar encontrar um intervalo portador de gás. (Lembrar que a porosidade a nêutron é indicativa da concentração de hidrogênio. Concentrações de hidrogênio mais baixas estão associadas a intervalos portadores de gás). O traçado de sobreposição sobre o lado esquerdo da Figura 12 mostra uma imagem de “antes” como medida por uma ferramenta de fonte rádio-isotópica, enquanto o traçado de sobreposição sobre o lado direito da Figura 12 mostra uma imagem de “depois” como dada pelos perfis

de porosidade a nêutron e densidade sintéticos derivados a partir das medições tomadas diversos anos depois dos perfis originais. A imagem de “depois” mostra uma expansão significativa da calota de gás (que foi confirmada pelas medições de seção transversal de formação a partir da ferramenta de PNC), ilustrando a utilidade dos perfis sintéticos para monitorar as mudanças para os reservatórios de hidrocarboneto.

Os métodos revelados acima podem prover dados de perfil de porosidade a nêutron e densidade mais precisos nas aplicações de LWD do que poderia ser feito usando fontes rádio-isotópicas de LWD. As ferramentas de fonte rádio-isotópica de LWD são sensíveis ao distanciamento (a distância a partir da face da ferramenta para a parede de poço) e ao movimento de ferramenta. Entretanto, ferramentas de nêutron pulsado oferecem profundidades de investigação mais profundas e são insensíveis às variações de distanciamento, tornando possível para os perfis de porosidade a nêutron e densidade serem mais precisos do que as medições feitas pela ferramenta de fonte rádio-isotópica.

Numerosas variações e modificações se tornarão visíveis para aqueles experientes na técnica, uma vez que a revelação acima seja completamente apreciada. Por exemplo, o conjunto de rede neural pode ser configurado para gerar perfis sintéticos adicionais para comparação aos perfis verdadeiros. Em um modo de realização, o conjunto de rede neural gera perfis de porosidade a nêutron, densidade, resistividade, e calibre sintéticos. Os perfis de resistividade e calibre são comparados aos perfis de resistividade e calibre verdadeiros como uma medição do controle de qualidade de perfil sintético. Como um outro exemplo, a presente revelação foca sobre a redução do uso de fonte rádio-isotópica nas operações de LWD, mas os mesmos princípios podem ser aplicados para reduzir o uso de fonte rádio-isotópica nas operações de perfilagem por cabo de perfuração de furo aberto. É pretendido que as reivindicações a seguir sejam interpretadas para abranger todas essas variações e modificações.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de registro, caracterizado pelo fato de compreender:
 - coletar pelo menos um registro de saída de um primeiro furo de poço de medições com uma fonte radioisotópica;
 - 5 coletar pelo menos um registro de entrada do primeiro furo de poço de medições por uma ferramenta de registro não-radioisotópica;
 - treinar uma rede neural para prever o registro de saída a partir de pelo menos um registro de entrada;
 - coletar pelo menos um registro de entrada de um segundo furo
 - 10 de poço de medições pela ferramenta de registro não-radioisotópica; e
 - processar o pelo menos um registro de entrada do segundo furo de poço para sintetizar pelo menos um registro de saída do segundo furo de poço.
2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo
 - 15 fato de adicionalmente compreender:
 - selecionar pelo menos uma localização de completção de poço baseada pelo menos em parte no pelo menos um registro de saída do segundo furo de poço; e
 - perfurar o revestimento de furo de poço em pelo menos uma
 - 20 localização de completção de poço.
3. Método de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo
 - fato da operação de processamento prover um registro de densidade e um
 - registro de porosidade de nêutron do segundo furo de poço, e pelo fato da
 - operação de selecionar compreender identificar intervalos de cruzamento dos
 - 25 registros de densidade e de porosidade de nêutron.
4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo
 - fato do primeiro furo de poço ser um furo de poço de treinamento e o segundo
 - furo de poço ser um furo de poço de desenvolvimento.
5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo

fato de pelo menos um registro de entrada coletado dos primeiro e segundo furos de poço compreender um registro de orifício aberto e um registro de orifício revestido.

5 6. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato do registro de orifício revestido ser determinado de medições por uma ferramenta de registro por captura de nêutron pulsada.

10 7. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato do registro de orifício revestido compreender um registro em um conjunto consistindo de registros de resistividade, registros sônicos, registros de espectroscopia de raio gama, registros de produção e combinações dos mesmos.

15 8. Método de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato do registro de orifício aberto compreender um registro em um conjunto consistindo de registros de resistividade, registros sônicos, registros de ressonância magnética nuclear, registros espectroscópicos de raios gama, registros de potencial espontâneo e combinações dos mesmos.

9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de pelo menos um registro de saída compreender pelo menos um de um registro de porosidade de nêutron e um registro de densidade de formação.

20 10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de pelo menos um registro de entrada compreender pelo menos um de um registro indicativo de resistividade de formação e uma registro sônica.

25 11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de pelo menos um registro de entrada compreender um registro em um conjunto consistindo de registros de raios gama induzidos, registros sônicos, registros de ressonância magnética nuclear e combinações dos mesmos.

12. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da ferramenta de registro não-radioisotópica compreender uma fonte

de nêutron pulsado.

13. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato da ferramenta de registro não-radioisotópica é uma ferramenta de registro de orifício revestido.

5 14. Método de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato da ferramenta de registro não-radioisotópica ser uma ferramenta de registro durante perfuração.

10 15. Meio portador de informação que, quando colocado em relação operacional com um computador, provê o computador com um software, caracterizado pelo fato de compreender:

um processo de treinamento que gera uma rede neural para sintetizar um ou mais registros de ferramenta de registro radioisotópica; e

15 um processo de transformação que aplica a rede neural para converter um conjunto de entrada de registros de ferramenta de registro não-radioisotópica em um conjunto de saída de um ou mais registros de ferramenta de registro radioisotópica.

20 16. Meio de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato da rede neural fazer parte de um conjunto de rede neural, onde o processo de treinamento gera um conjunto de redes neurais tendo diversidade em entradas e em complexidade, e onde o software compreende adicionalmente:

um processo de seleção que identifica uma combinação de redes neurais do conjunto de redes neurais para formar o conjunto de rede neural.

25 17. Meio de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato do conjunto de saída compreender pelo menos um de um registro de porosidade pulsado e registro de densidade.

18. Meio de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato do conjunto de entrada compreender um registro de resistividade e registros por uma ferramenta de registro de nêutron pulsado.

19. Meio de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato da ferramenta de registro de nêutron pulsado ser uma ferramenta de registro de orifício revestido.

5 20. Meio de acordo com a reivindicação 16, caracterizado pelo fato do processo de seleção identificar uma combinação de redes neurais do conjunto tendo uma medida de adequacidade desejável, a mencionada medida de adequacidade sendo baseada, pelo menos parcialmente, em uma medida de correlação negativa para cada rede neural na combinação.

10 21. Sistema de registro, caracterizado pelo fato de compreender:

uma ferramenta de registro não-radioisotópica para obter medições em um furo de poço; e

15 um computador para receber as medições da ferramenta de registro não-radioisotópica, onde o computador sintetiza pelo menos um de um registro de densidade e um registro de porosidade de nêutron usando as medições da ferramenta de registro não-radioisotópica.

20 22. Sistema de acordo com a reivindicação 21, caracterizado pelo fato do computador implementar uma rede neural para converter múltiplos registros não-radioisotópicos em pelo menos um de um registro de densidade e um registro de porosidade de nêutron.

25 23. Sistema de acordo com a reivindicação 22, caracterizado pelo fato de adicionalmente compreender uma ferramenta de perfuração para perfurar revestimento no furo de poço em posições selecionadas com base, pelo menos parcialmente, em pelo menos um de um registro de densidade e um registro de porosidade de nêutron sintetizados pelo computador.

24. Método de registro, caracterizado pelo fato de compreender:

obter um primeiro registro de um furo de poço por pelo menos uma de uma ferramenta de resistividade e uma ferramenta sônica;

obter um registro de ferramenta de nêutron pulsado do furo de poço; e

5 combinar o primeiro registro com o registro de ferramenta de nêutron pulsado para sintetizar um registro de ferramenta de fonte radioisotópica do furo de poço.

25. Método de registro de acordo com a reivindicação 24, caracterizado pelo fato da operação de combinação empregar um conjunto de rede neural para sintetizar o registro de ferramenta de fonte radioisotópica.

10 26. Método de registro de acordo com a reivindicação 24, caracterizado pelo fato do registro de ferramenta de fonte radioisotópica ser um registro de porosidade de nêutron.

27. Método de registro de acordo com a reivindicação 24, caracterizado pelo fato do registro de ferramenta de fonte radioisotópica ser um registro de densidade.

15 28. Método de registro de acordo com a reivindicação 24, caracterizado pelo fato do primeiro registro ser um registro de resistividade.

FIG. 1

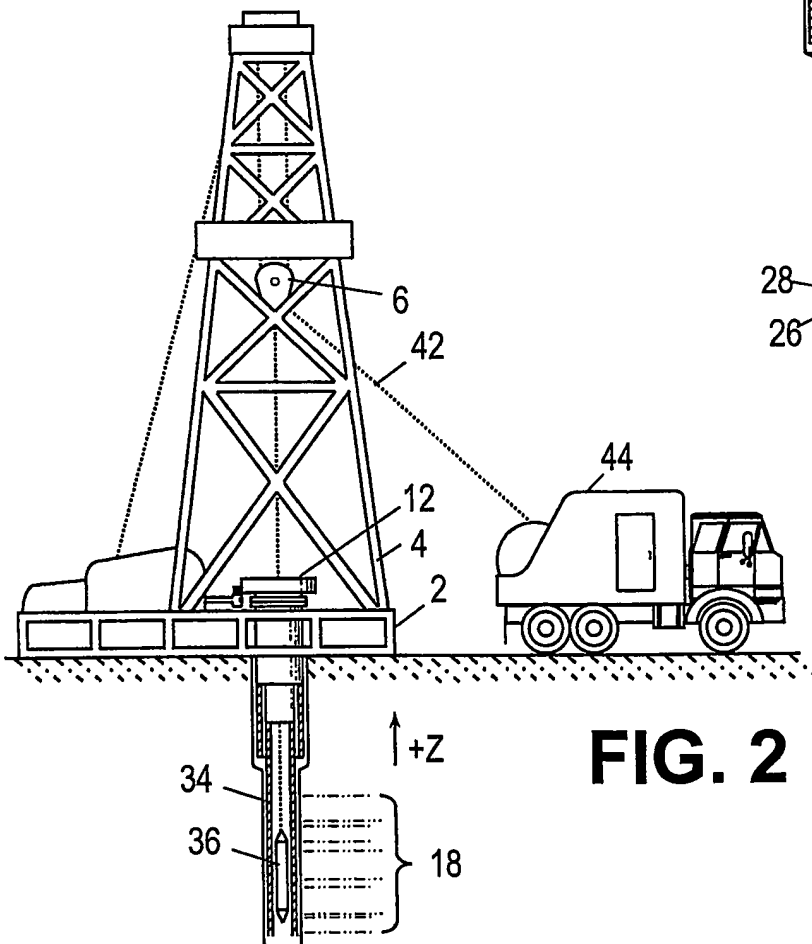
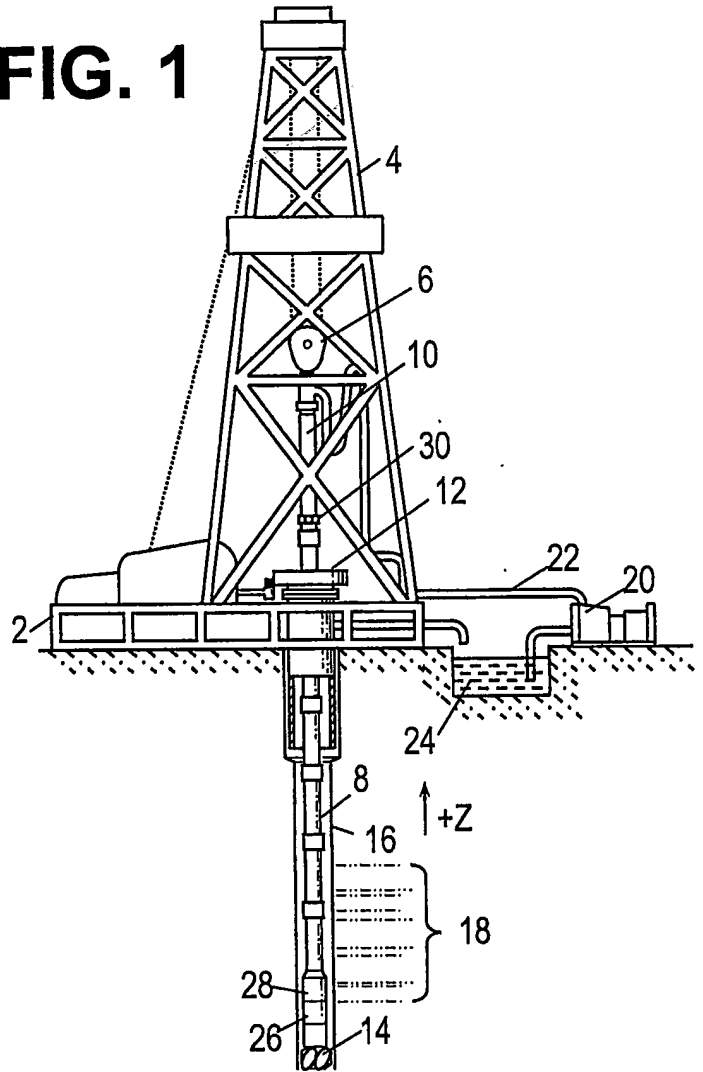


FIG. 2

FIG. 3

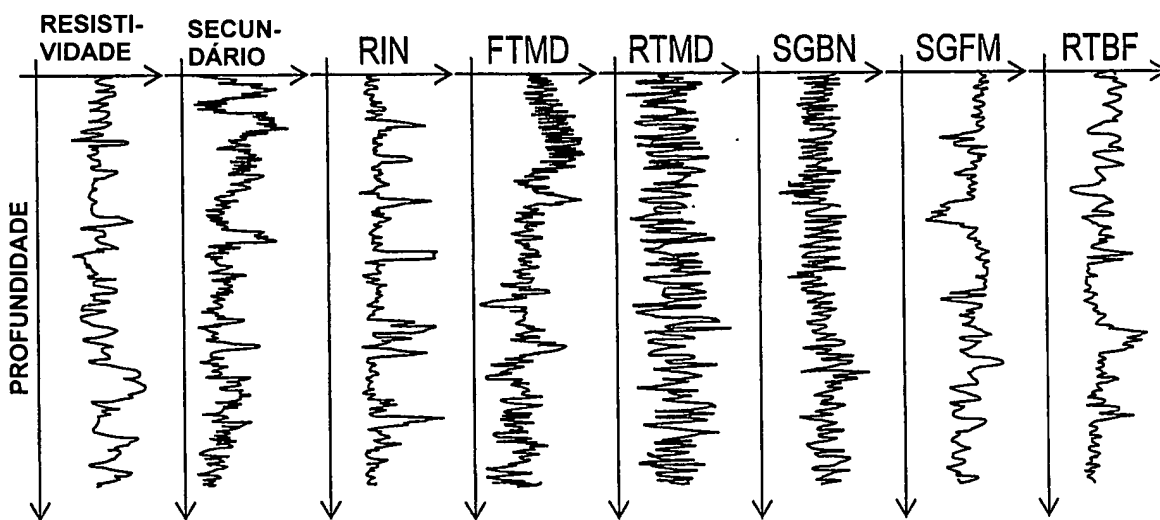
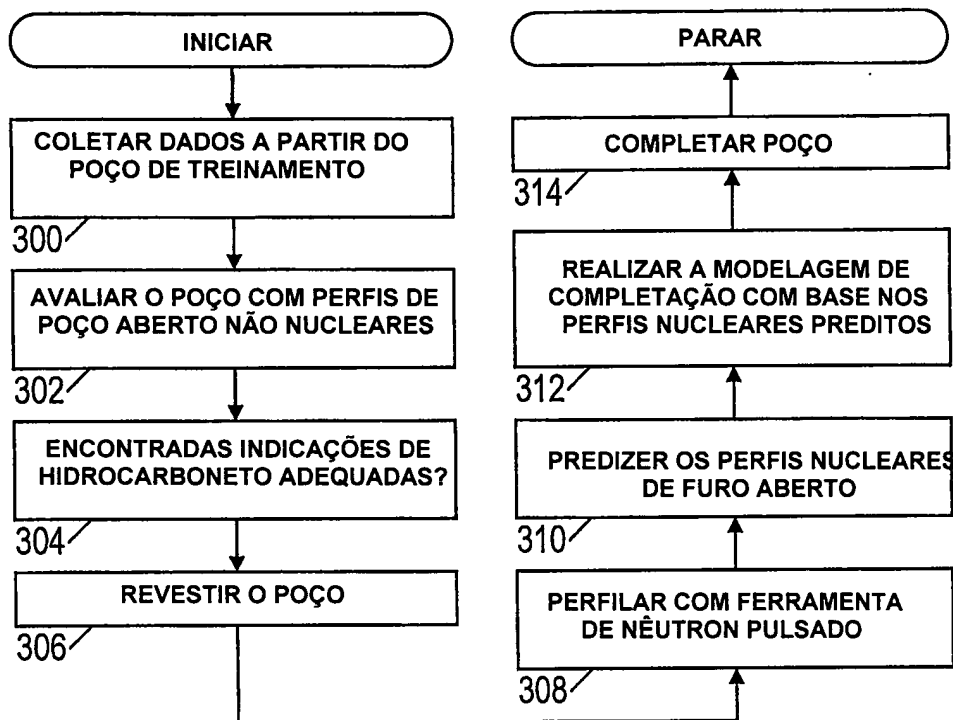


FIG. 4

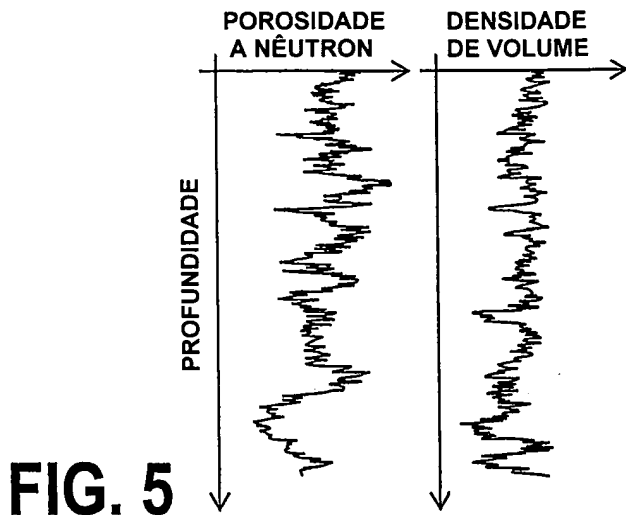


FIG. 5

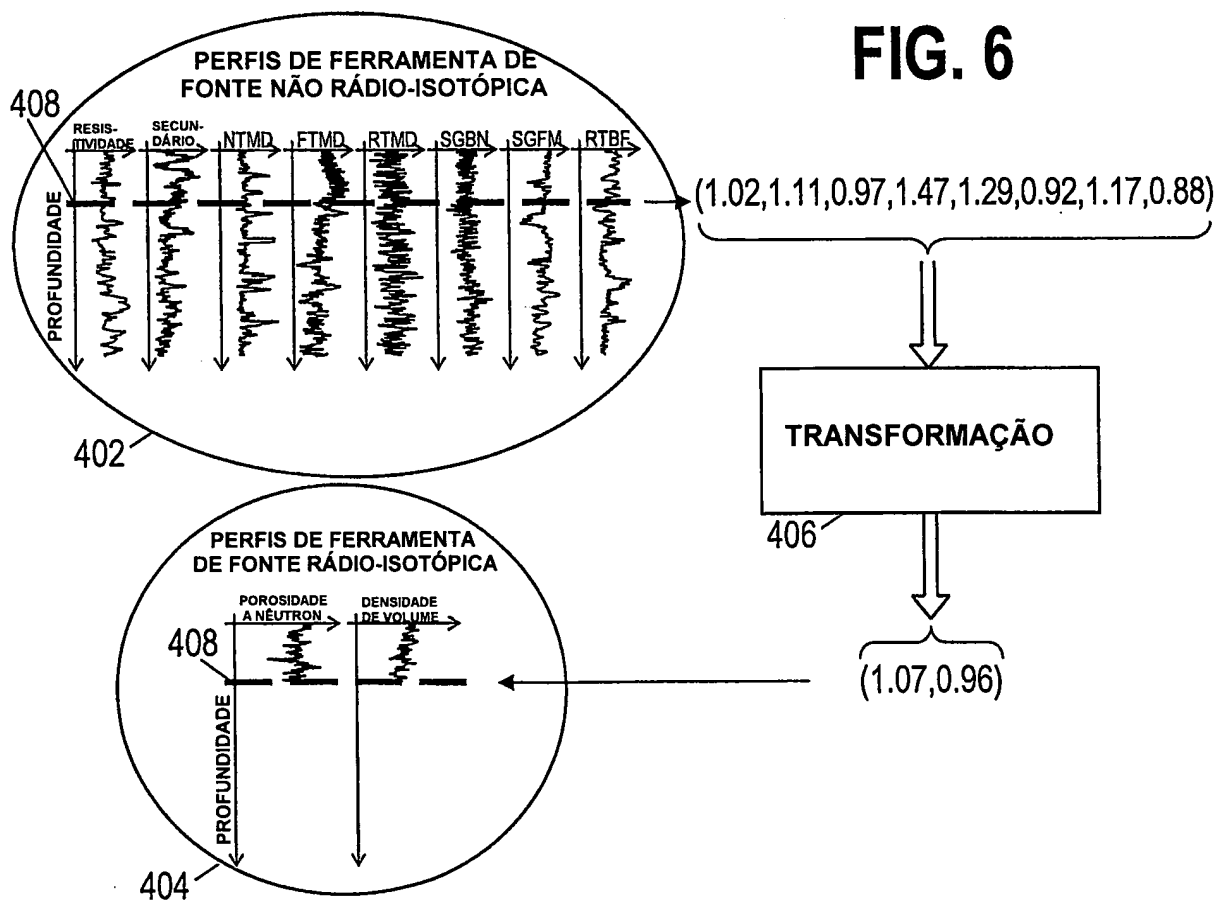


FIG. 6

FIG. 7

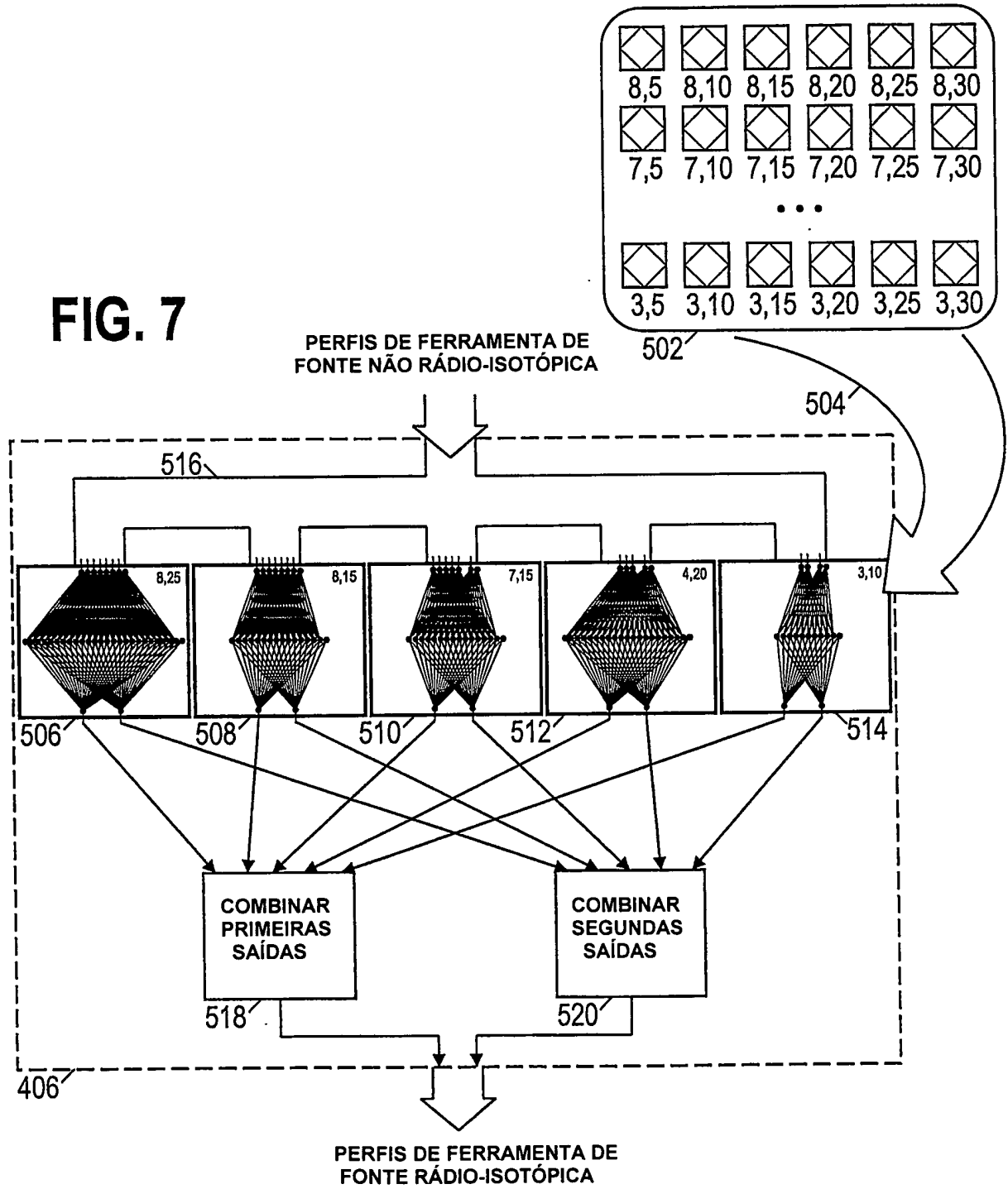


FIG. 8

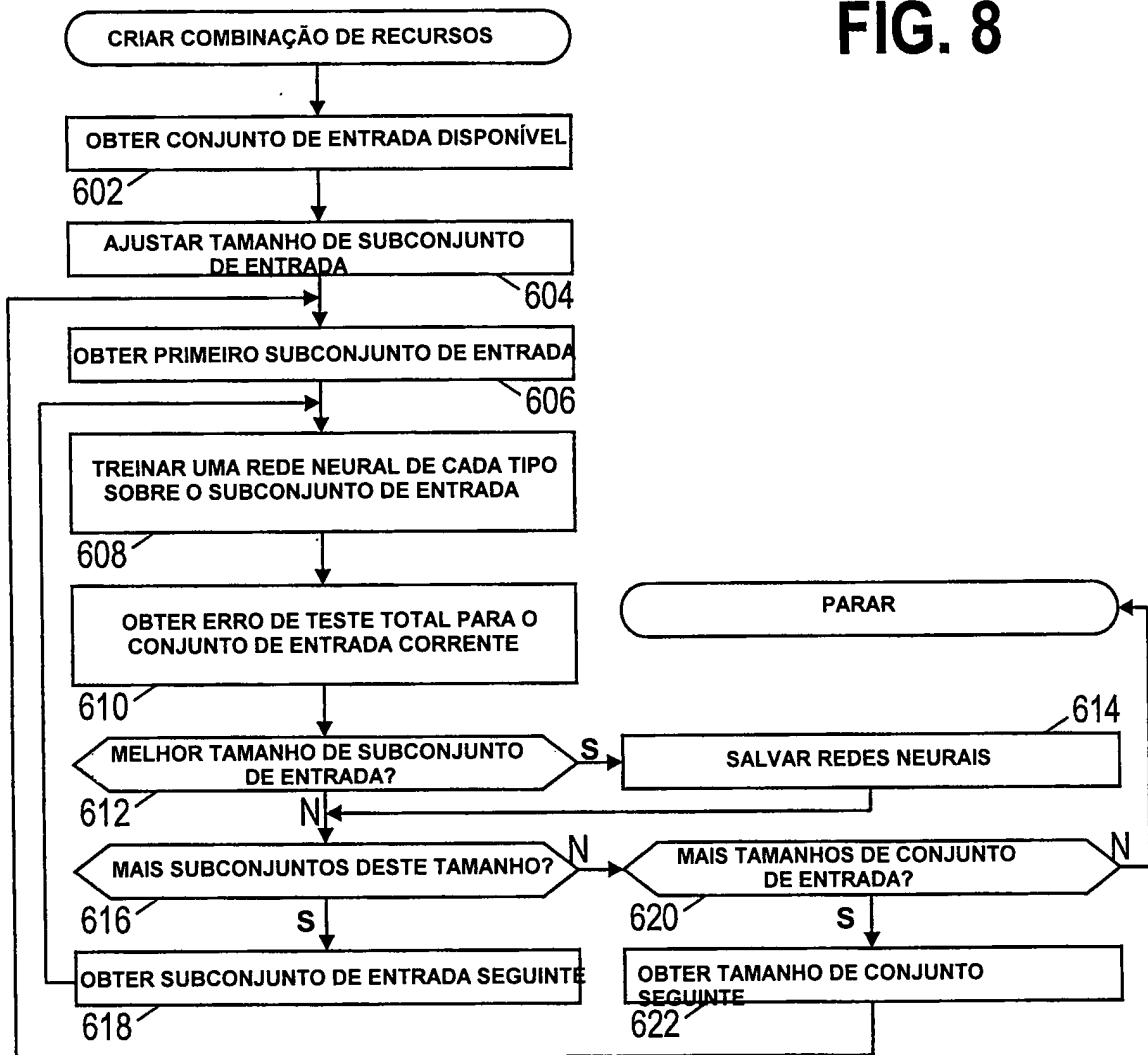


FIG. 9

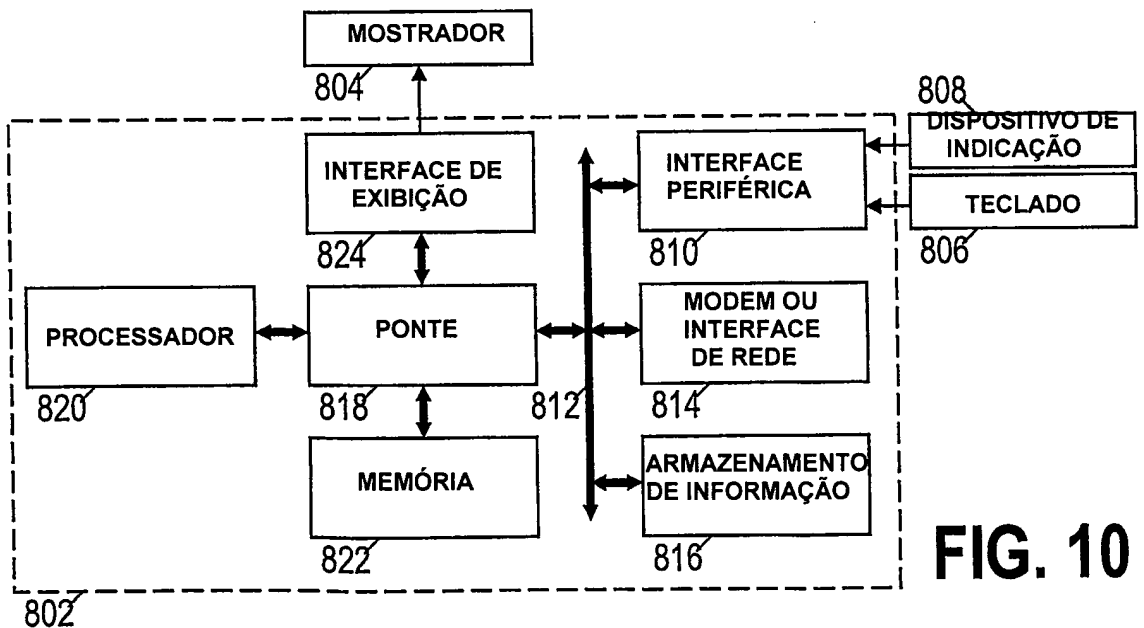
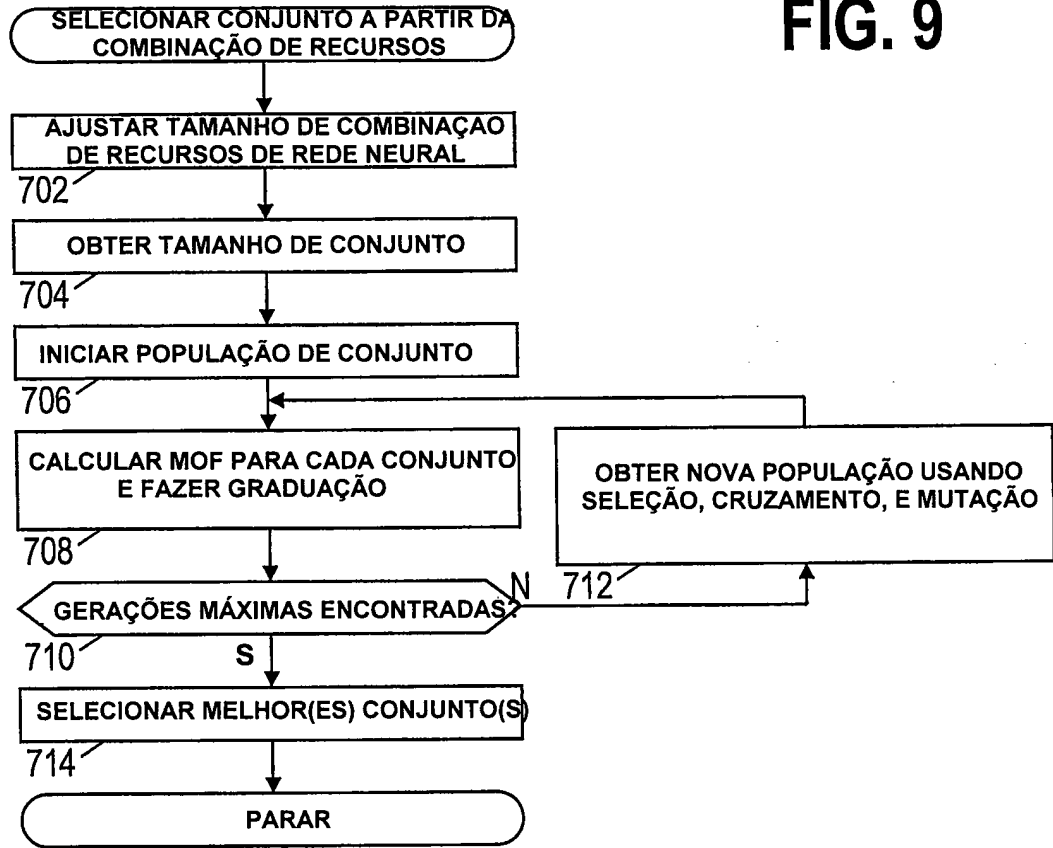


FIG. 10

FIG. 11

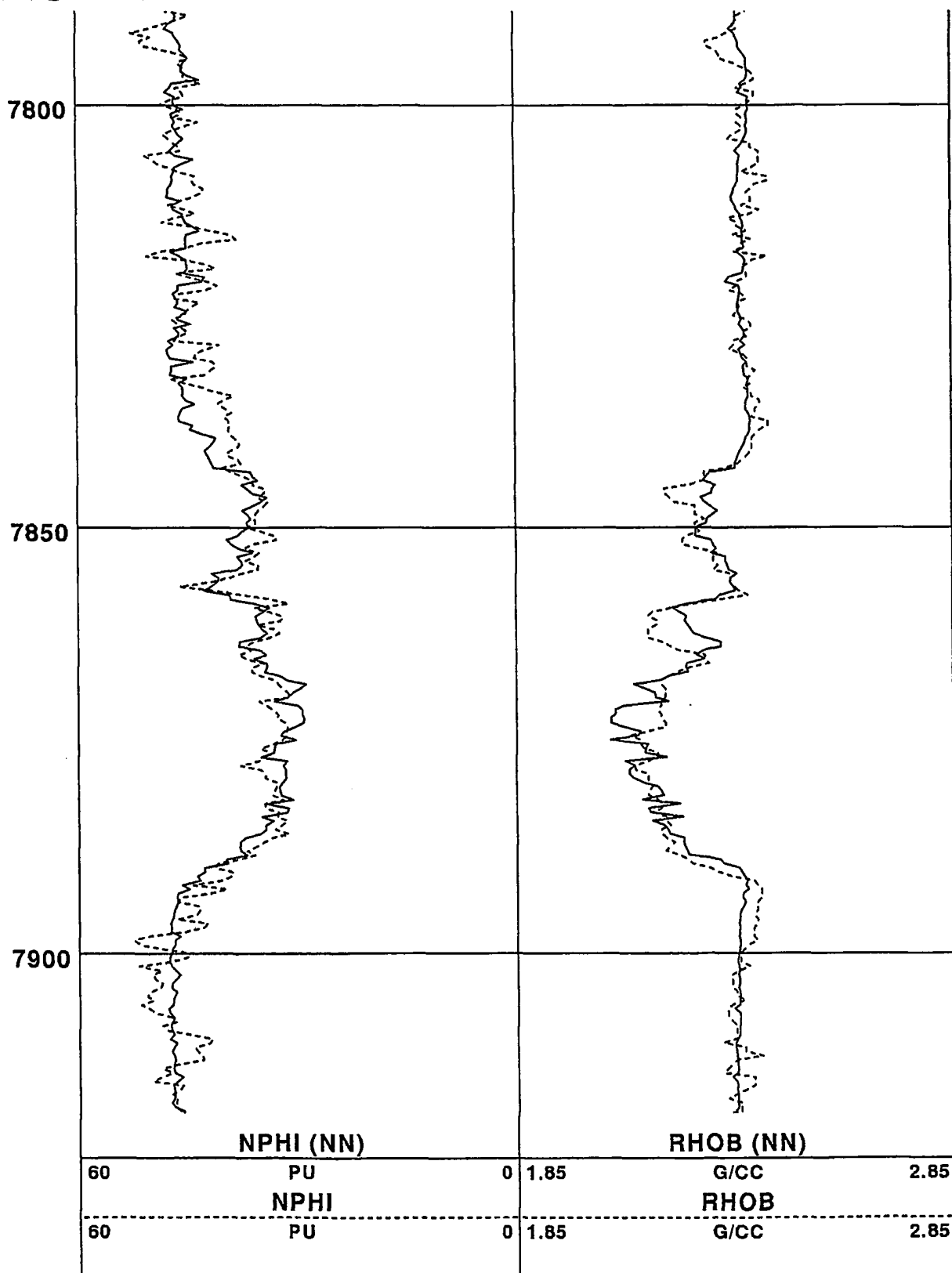
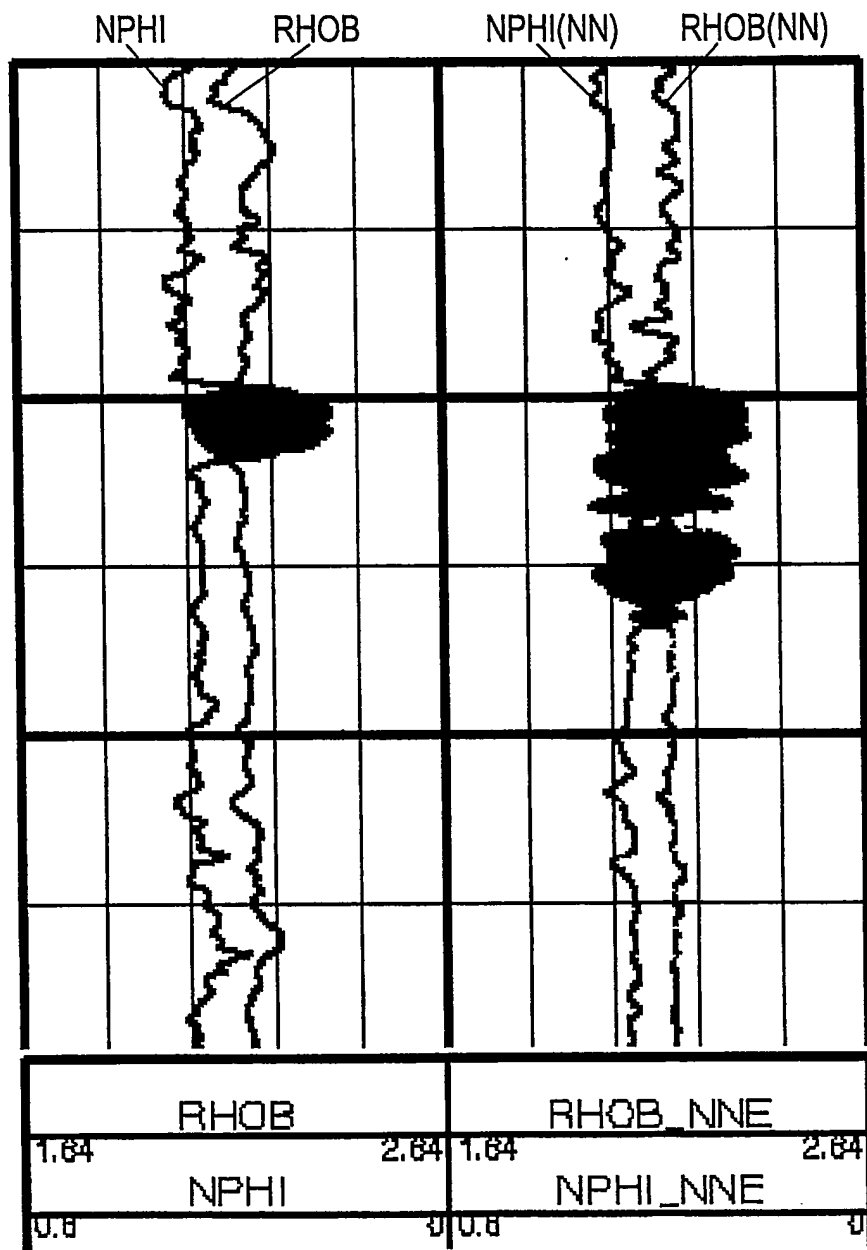


FIG. 12



RESUMO**“MÉTODO DE REGISTRO, MEIO PORTADOR DE INFORMAÇÃO, E, SISTEMA DE REGISTRO”**

Sistemas e métodos de registro são revelados para reduzir o uso de fontes radioisotópicas. Alguns modos de realização compreendem coletar pelo menos um registro de saída de um furo de poço de treinamento de medições com uma fonte radioisotópica; coletar pelo menos um registro de entrada do furo de poço de treinamento de medições por uma ferramenta de registro não-radioisotópica; treinar uma rede neural para predizer o registro de saída de pelo menos um registro de entrada; coletar pelo menos um registro de entrada de um furo de poço de desenvolvimento de medições pela ferramenta de registro não-radioisotópica; e processar o pelo menos um registro de entrada do furo de poço de desenvolvimento para sintetizar pelo menos um registro de saída do furo de poço de desenvolvimento. Os registros de saída podem incluir registros de densidade de formação e de porosidade de nêutron.