



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

**(11) PI 0901744-5 B1**



**(22) Data do Depósito: 13/05/2009**

**(45) Data de Concessão: 24/04/2019**

---

**(54) Título:** IMAGEAMENTO DE FURO DE POÇO E DETERMINAÇÃO DE AFASTAMENTO USANDO MEDIÇÕES DE NÊUTRONS

**(51) Int.Cl.:** G01V 5/10.

**(30) Prioridade Unionista:** 13/05/2008 US 12/119,685.

**(73) Titular(es):** PRECISION ENERGY SERVICES, INC..

**(72) Inventor(es):** MEDHAT W. MICKAEL.

**(57) Resumo:** IMAGEAMENTO DE FURO DE POÇO E DETERMINAÇÃO DE AFASTAMENTO USANDO MEDIÇÕES DE NÊUTRONS. A presente invenção refere-se ao aparelho e métodos para determinar diâmetro de furo de poço e afastamento para sistemas de perfilagem de porosidade de nêutrons. O aparelho compreende uma fonte isotópica de nêutrons, um único detector de nêutrons epitérmicos e dois detectores de nêutrons térmicos, onde todos os detectores estão em diferentes espaçamentos axiais a partir da fonte de nêutrons. Porosidade de nêutrons térmicos é determinada a partir da resposta combinada dos detectores de nêutrons térmicos. Porosidade de nêutrons epitérmicos é determinada a partir da resposta do único detector de nêutrons epitérmicos. Concretizada como um sistema de cabo de perfilagem, uma diferença entre porosidade de nêutrons térmicos e porosidade de nêutrons epitérmicos é usada para computar um afastamento de ferramenta, o qual por sua vez é usado para corrigir a porosidade de nêutrons térmicos para efeitos de afastamento. Medições de tamanho de furo de poço são feitas independentemente e de forma preferível com um calibrador mecânico de uma subseção de ferramenta de densidade. Concretizada como um sistema de LWD, a diferença entre porosidade de nêutrons térmicos e porosidade de nêutrons epitérmicos é usada para corrigir a (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"IMAGEAMENTO DE FURO DE POÇO E DETERMINAÇÃO DE AFASTAMENTO USANDO MEDIÇÕES DE NÊUTRONS"**.

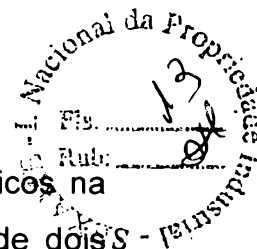
CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção refere-se a determinação de parâmetros de furo de poço e a posição radial de instrumentação de furo de poço dentro do furo de poço. Mais especificamente, a invenção refere-se a determinação de diâmetro de furo de poço e afastamento de instrumentação dentro do furo de poço usando medições de nêutrons epitérmicos e térmicos.

10 ANTECEDENTES

O elemento hidrogênio (H) é um moderador muito eficiente de nêutrons energéticos por causa da diferença relativamente pequena nas suas massas. Ferramentas ou subseções de porosidade de nêutrons térmicos compreendendo uma fonte de nêutrons e pelo menos um detector de nêutrons térmicos espaçados axialmente são, portanto, muito responsivas ao teor de hidrogênio ou "índice de hidrogênio" das imediações nas quais elas são dispostas. Em uma grande maioria das formações de solo, H está dentro do fluido que está no espaço de poro da formação. A resposta de uma ferramenta de porosidade de nêutrons ao índice de hidrogênio, portanto, pode ser usada para obter uma indicação de espaço de poro e, portanto, uma indicação da porosidade da formação.

Resposta de ferramenta de porosidade de nêutrons térmicos também é afetada pelas condições de furo de poço tais como diâmetro de furo de poço e a posição radial da ferramenta dentro do furo de poço, a qual é comumente referida como "afastamento". Resposta de ferramenta é afetada adicionalmente pelos elementos com altas seções transversais de nêutrons térmicos. Exemplos de tais elementos são boro que é encontrado no xisto e cloro que é encontrado em águas de formação de salina. Correções aplicadas às medições de porosidade de nêutrons térmicos para efeitos tais como estes são comumente conhecidas como "correções ambientais". Finalmente, resposta de ferramenta é afetada pela intensidade de fonte de nêutrons, eficiência de detector de nêutrons térmicos, geometria fonte-



detector incluindo proteção e espaçamento axial, e fatores sistemáticos na eletrônica associada com o detector. A combinação de respostas de dois detectores de nêutrons térmicos em diferentes espaçamentos axiais a partir da fonte elimina alguns destes fatores de resposta adversos.

5 Dependendo das condições de calibração de ferramenta, correções adicionais devem ser feitas. Ferramentas de porosidade de nêutrons térmicos de duplo detector de cabo de perfilagem são tipicamente calibradas em uma formação conhecida com um furo de poço de diâmetro "padrão" e com a ferramenta impelida contra a parede do furo de poço. Esta posição

10 radial é comumente referida como "descentralizada" e sem nenhum afastamento. Em operações de perfilagem, diâmetro de furo de poço pode variar do "padrão", e a ferramenta pode se afastar da parede de furo de poço. Correções para diâmetros de furo de poço não padrões são tipicamente feitas em tempo real usando a resposta de um calibrador de cabo de perfilagem

15 mecânico. Além do mais, correções em tempo real para afastamento de ferramenta são exigidas para se obter leituras de porosidade precisas. Entretanto, medições de afastamento não são amplamente usadas e correções *ad hoc* são tipicamente feitas com base em julgamento de condições de furo de poço. Conceitos básicos de perfilagem de porosidade de nêutrons térmicos de duplo detector de cabo de perfilagem estão descritos na Patente U.S. Nº

20 4.004.147, a qual está concretizada nesta descrição pela referência. Correções ambientais para perfis de porosidade de nêutrons térmicos de duplo detector de cabo de perfilagem estão reveladas na publicação "Experimental Determination of Environmental Corrections for a Dual-Spaced Neutron Porosity Log", D. M. Arnold e outros, paper VV, 22nd Annual Logging Symposium Transactions: Society of Professional Well Log Analyst.

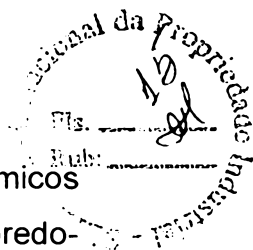
25

Metodologia de perfilagem de nêutrons térmicos de duplo detector também é aplicável a sistemas de perfilagem durante a perfuração (LWD). Os conceitos básicos são os mesmos que aqueles usados na contraparte de cabo de perfilagem. Ferramentas ou subseções de LWD são novamente calibradas em formações conhecidas com um diâmetro de furo de poço "padrão", mas com a ferramenta centrada radialmente ou "centraliza-

30

da" dentro do furo de poço. Ao contrário da contraparte de cabo de perfilagem, calibradores mecânicos não podem ser usados em sistemas de LWD para medir diâmetro de furo de poço. Medições de afastamento acústicos têm sido usadas com precisão razoavelmente boa sob maioria das condições, mas podem experimentar sinal inferior se as ondas acústicas não forem perpendiculares à parede de furo de poço. Medições de afastamento acústicas também estão sujeitas a inexatidões por causa de mudanças nas propriedades acústicas da lama. Três sensores acústicos colocados a 120 graus um do outro são exigidos para obter uma medição de diâmetro de furo de poço mais precisa em sistemas de LWD. Determinação de afastamento a partir de uma medição de densidade de LWD independente também tem sido usada com precisão justa sob condições de furo de poço nominais, mas ela é afetada adversamente por mudanças na densidade da lama. Além disso, determinação de afastamento a partir de medições de densidade somente é válida em lama não de barita, o que é uma principal limitação desta abordagem. Uma vez que tanto os sensores de densidade quanto os acústicos são medições focalizadas e "veem" somente na frente deles, medições de diâmetro de furo de poço em sistemas de LWD de uma maneira geral têm menor precisão do que medições de afastamento. Correções seguras em tempo real para diâmetro de furo de poço e a posição radial da ferramenta dentro do furo de poço (isto é, afastamento) são necessárias para obter medições de porosidade de nêutrons de LWD precisas.

Medidas de nêutrons epitérmicos têm sido usadas para aprimorar ou corrigir medições de porosidade de nêutrons térmicos duplos. Por causa de fluxo de nêutrons epitérmicos ser tipicamente menor do que fluxo de nêutrons térmicos correspondente, e por causa de detectores de nêutrons epitérmicos serem menos eficientes por unidade de volume do que detectores de nêutrons térmicos, espaçamento axial de detector epitérmico a partir da fonte de nêutrons é necessariamente menor para se obter medições significativas estatisticamente. Este espaçamento axial reduzido também reduz a profundidade radial de investigação da medição. Estes fatores desestimulam adicionalmente o uso de duplos detectores de nêutrons epitérmicos em

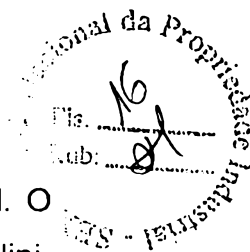


diferentes espaçamentos axiais. O uso de medições de nêutrons epitérmicos para corrigir medições de porosidade de nêutrons térmicos tem sido predominantemente no campo de fontes de nêutrons pulsados em vez de contínuos ou isotrópicos. Conceitos básicos de medições de porosidade de nêutrons epitérmicos estão descritos nas Patentes U.S. Nº 5.532.481 (Mickael) e 5.596.191 (Mickael), as quais estão concretizadas neste documento pela referência.

### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A invenção usa uma ferramenta (ou subseção se operada em combinação com outros tipos de subseções de perfilagem) compreendendo uma fonte de nêutrons contínua ou isotópica, um único detector de nêutrons epitérmicos e dois detectores de nêutrons térmicos, onde todos os detectores estão em espaçamentos axiais diferentes a partir da fonte de nêutrons. Porosidade de nêutrons térmicos é determinada a partir da resposta combinada de um primeiro ou detector de nêutrons térmicos "pouco espaçado" em um primeiro espaçamento axial e um segundo ou detector térmico "longamente espaçado" em um segundo espaçamento axial. O segundo espaçamento é maior do que o primeiro espaçamento. Porosidade de nêutrons epitérmicos é determinada a partir da resposta do único detector de nêutrons epitérmicos, o qual é espaçado axialmente mais próximo da fonte de nêutrons do que cada um dos detectores de nêutrons térmicos.

Concretizada como um sistema de cabo de perfilagem, uma diferença entre porosidade de nêutrons térmicos e porosidade de nêutrons epitérmicos é usada para computar um afastamento de ferramenta, o que por sua vez é usado para corrigir a porosidade de nêutrons térmicos para efeitos de afastamento. Medições de tamanho de furo de poço são feitas de forma independente e preferivelmente com um calibrador mecânico de uma subseção de ferramenta de densidade. Concretizada como um sistema de LWD, a diferença entre porosidade de nêutrons térmicos e porosidade de nêutrons epitérmicos é usada para corrigir a medição de porosidade de nêutrons térmicos tanto para diâmetro de furo de poço quanto para posição radial (afastamento) da ferramenta dentro do furo de poço.



As porosidades corrigidas são determinadas em tempo real. O método é relativamente independente de salinidade de furo de poço, salinidade da formação e é operável em furos de poços variando de 15,2 a 30,5 centímetros (6,0 a 12,0 polegadas). O sistema também opera em lama de barita. Litologia da formação e peso de lama devem ser introduzidos. Estimativas de peso de lama são tipicamente conhecidas, e litologia da formação pode ser obtida pela combinação de porosidade de nêutrons, porosidade de densidade e porosidade acústica aparentes usando metodologia bem conhecida na técnica.

## 10 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A maneira na qual os recursos e vantagens relatados anteriormente, brevemente sumarizado acima, são obtidos pode ser entendida detalhadamente pela referência às modalidades ilustradas nos desenhos anexos.

15 A figura 1 ilustra a invenção concretizada como uma ferramenta de perfilagem convencional suspensa dentro de um furo de poço;

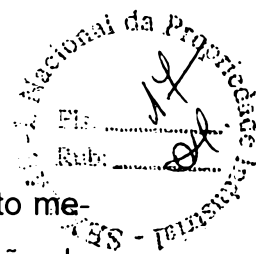
a figura 2 ilustra a invenção concretizada como uma ferramenta de perfilagem durante a perfuração suspensa dentro de um furo de poço;

20 a figura 3a ilustra ( $\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}}$ ) *versus*  $\Phi_{\text{VERDADEIRA}}$  para uma subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem em um furo de poço de (20,3 centímetros (8 polegadas) e nenhum afastamento.

A figura 3b ilustra ( $\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}}$ ) *versus*  $\Phi_{\text{VERDADEIRA}}$  para uma subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem para furos de poços de diâmetros de 20,3 centímetros (8,0 polegadas) 25,4 centímetros (10 polegadas) e 12 polegadas (30,5 centímetros);

25 A figura 3c ilustra ( $\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}}$ ) *versus*  $\Phi_{\text{VERDADEIRA}}$  para afastamentos de subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5 polegadas) respectivamente;

30 A figura 4 ilustra afastamento verdadeiro de subseção de porosidade de nêutrons para uma subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem representado graficamente como uma função de ( $\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}}$ );



A figura 5 ilustra um gráfico correspondente de afastamento medido como uma função de afastamento verdadeiro para uma subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem;

5 A figura 6 é similar à figura 4, mas mostra afastamento de ferramenta para uma subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem representado graficamente como uma função de  $(\Phi_E - \Phi_{Th})$  para afastamentos de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0, 1,5 polegadas);

10 a figura 7 mostra um gráfico correspondente de afastamento medido como uma função de afastamento verdadeiro para uma subseção de porosidade de nêutrons;

a figura 8 é um gráfico de diâmetro computado de furo de poço como uma função de diâmetro real de furo de poço para uma subseção de porosidade de nêutrons de LWD;

15 a figura 9 é uma seccional transversal que mostra a posição radial (isto é, afastamento) de uma subseção de porosidade de nêutrons de LWD determinada em diâmetros de furo de poço de amostra de 22,2 centímetros (8,75 polegadas) e 25,4 centímetros (10,0 polegadas);

20 a figura 10 é um gráfico de diâmetro computado de furo de poço como uma função de diâmetro real de furo de poço para uma subseção de porosidade de nêutrons de LWD; e

a figura 11 é uma seccional transversal mostrando uma posição radial descentralizada (isto é, afastamento) de uma subseção de porosidade de nêutrons de LWD determinada em diâmetros de furo de poço de amostra de 22,2 centímetros (8,75 polegadas) e 25,4 centímetros (10,0 polegadas).

## 25 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES PREFERIDAS

### Modalidades da invenção

A invenção pode ser concretizada como um sistema de cabo de perfilagem ou como um sistema de perfilagem durante a perfuração.

30 A figura 1 ilustra uma ferramenta de perfilagem 10 suspensa dentro de um furo de poço 30 penetrando na formação de solo 38. O topo da ferramenta 10 é conectado operacionalmente a um cabo de perfilagem 34 por meio de uma "cabeça" de ferramenta adequada 33. O cabo de perfila-

gem 34 coopera com um guincho principal na superfície para transportar a ferramenta ao longo do furo de poço 30. Tais guinchos principais são bem conhecidos na técnica, e estão representados de forma conceitual em 35. O cabo de perfilagem 34 também serve como um dispositivo para transportar a ferramenta ao longo do furo de poço 30 assim como um conduto de dados e energia entre a ferramenta 10 e o equipamento de superfície 36. O equipamento de superfície 36 compreende fontes de energia, circuitos de controle, preferivelmente um processador de superfície e equipamento de gravação para gerar um perfil 37 de parâmetros medidos como uma função de profundidade dentro do furo de poço.

A ferramenta 10 tipicamente compreende uma combinação de "subseções" com cada subseção sendo projetada para medir um tipo específico de parâmetro de furo de poço ou da formação. Uma subseção de densidade 12 está representada na figura 1 na parte inferior da ferramenta 10. Uma almofada de articulação 16 compreende uma fonte de raios gama 18 e dois detectores de raios gama espaçados axialmente 19 e 20. A almofada de articulação é impelida contra a parede do furo de poço 30 por um braço de apoio mecânico 14. A subseção de densidade é calibrada para operar descentralizada radialmente no furo de poço. Detalhes da teoria e operação de sistemas de raios gama do tipo almofada de duplo detector são bem conhecidos na técnica.

Referindo-se novamente à figura 1, uma subseção de porosidade de nêutrons 22 está disposta acima da subseção de densidade. A subseção de porosidade de nêutrons compreende uma fonte de nêutrons 24. A fonte de nêutrons 24 é uma fonte isotópica, tal como a Americium-Beryllium (AmBe), Californium-252 (252Cf), ou qualquer fonte isotópica que emita nêutrons na faixa de energia epitérmica. Um detector de nêutrons epitérmicos 26 é espaçado axialmente da fonte de nêutrons 24. O detector de nêutrons epitérmicos 26 usado no sistema desta descrição compreendeu um detector de gás He-3 em 10 atmosferas e com um volume ativo de 2,54 centímetros (1,00 polegada) de diâmetro e 2,54 centímetros (1,00 polegada) de comprimento. O detector 26 é disposto dentro de um alojamento PEEK com 15%

de boro (3% 10B) para produzir o detector principalmente responsivo a nêutrons epitérmicos. O centro ativo do detector é espaçado axialmente de cerca de 11,4 centímetros (4,5 polegadas) da fonte 24, mas testes indicam que variações no espaçamento axial de 5,1 a 17,8 centímetros (2,0 a 7,0 polegadas) têm pouco efeito sobre os resultados finais. A subseção de porosidade de nêutrons 22 é preferivelmente calibrada para operar descentralizada radialmente no furo de poço e, portanto, deve ser operada sem afastamento. Qualquer afastamento induzirá erro no parâmetro medido de interesse e deve ser corrigido matematicamente para obter resultados desejados.

10 Referindo-se ainda à figura 1, uma subseção de acústica 39 está mostrada e disposta acima da subseção de porosidade de nêutrons 22. A subseção de acústica é calibrada para operar centralizada radialmente dentro do furo de poço. Centralização é obtida usando, tais como, molas curvas 31, centralizadores de força e similares. Uma subseção de eletrônica 32 é  
15 disposta acima da subseção de acústica 39.

Considerando o posicionamento radial de todas as subseções compreendendo a ferramenta de cabo de perfilagem 10, fica aparente que a subseção de porosidade de nêutrons 22 pode se afastar de 2,54 – 5,08 centímetros (1,0 a 2,0 polegadas) tal como indicado em 27 com algum grau de  
20 inclinação. Correções para o afastamento devem ser feitas a fim de obter medições de porosidade de nêutrons precisas e seguras.

O aparelho e métodos da presente invenção fornecem uma medida de afastamento de subseção de porosidade de nêutrons pela combinação de respostas dos detectores de nêutrons térmicos e do detector de nêutrons epitérmicos. Detalhes serão apresentados em uma seção subsequente desta descrição. Uma medida de diâmetro de furo de poço é tipicamente  
25 obtida independentemente, tal como, a partir da resposta do calibrador mecânico da subseção de densidade 12.

A figura 2 ilustra uma ferramenta de perfilagem durante a perfuração (LWD) 40 suspensa dentro de um furo de poço 30 penetrando novamente na formação de solo 38. O topo da ferramenta 10 é conectado operacionalmente a uma coluna de perfuração 56 com um conector adequado 55.  
30

A coluna de perfuração termina em uma plataforma de perfuração giratória, a qual é bem conhecida na técnica e está representada de forma conceitual em 57. A coluna de perfuração 56 serve como um meio para transportar a ferramenta 40 ao longo do furo de poço 30 e pode funcionar como um elemento para transportar dados entre a ferramenta 40 e o equipamento de superfície 58. O equipamento de superfície 58 tipicamente compreende equipamento de gravação para gerar os perfis 59 de parâmetros medidos como uma função de profundidade dentro do furo de poço.

Referindo-se ainda à figura 2, a ferramenta 40 termina na extremidade inferior por uma broca de perfuração 42. Uma subseção auxiliar 49 pode conter opcionalmente sensores de LWD adicionais ou instrumentação de controle direcional de furo de poço. Movendo-se para cima na ferramenta, uma subseção de densidade 46 está mostrada com as lâminas estabilizadoras 47 que tendem a dispor a subseção perto do centro do furo de poço. A subseção de densidade compreende preferivelmente uma fonte de raios gama e pelo menos dois detectores de raios gama espaçados axialmente tal como discutido no relato da sua contraparte de cabo de perfilagem. Uma subseção de porosidade de nêutrons 48 está mostrada e disposta acima da subseção de densidade 46. A subseção de porosidade de nêutrons 48 compreende uma fonte de nêutrons 50, um detector de nêutrons epitérmicos 51, e dois detectores de nêutrons térmicos 52 e 53 espaçados axialmente do mesmo tipo que da sua contraparte de cabo de perfilagem. Uma subseção de acústica não está mostrada. Uma seção de eletrônica e energia 54 está mostrada acima da subseção de nêutrons, e fornece eletrônica de controle, pelo menos um processador de fundo de poço, telemetria e energia para outras subseções da ferramenta 40.

Os conceitos de porosidade de nêutrons da presente invenção podem ser aplicados a sistemas de LWD assim como a sistemas de cabo de perfilagem. Existem, entretanto, algumas diferenças na implementação. A primeira, ao contrário da subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem 22 que é calibrada para operar descentralizada radialmente dentro do furo de poço, a subseção de porosidade de nêutrons de LWD 48 é

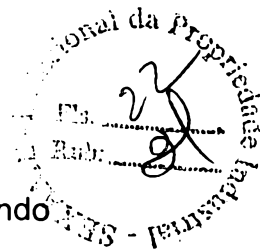
calibrada para operar centralizada radialmente no furo de poço. Se a subseção 48 estiver centralizada dentro do furo de poço, afastamento é constante azimutalmente e os efeitos são corrigíveis. Na prática, uma subseção de ferramenta de nêutrons de LWD nunca é centralizada exatamente dentro do furo de poço. O afastamento pode variar à medida que a ferramenta de LWD 40 gira dentro do furo de poço 30. Além disso, desmoronamentos na parede de furo de poço tornam o furo de poço visto por uma subseção de porosidade de nêutrons giratória 48 assimétrico e, portanto, uma função da posição azimutal da subseção. Correções apropriadas devem ser feitas para o afastamento como uma função de rotação azimutal.

A segunda diferença entre a ferramenta de cabo de perfilagem 10 (figura 1) e uma ferramenta de LWD (figura 2) é a falta de uma medição de calibrador de furo de poço mecânico na ferramenta de LWD. Um conhecimento anterior do diâmetro de furo de poço (tal como um diâmetro de broca) pode ser usado como um "calibrador" substituto, mas variação no diâmetro de furo de poço por causa de desmoronamentos pode ter efeitos significativos nas medições de porosidade de nêutrons. Além disso, diâmetro de furo de poço tipicamente varia com profundidade, e ferramentas de diâmetros diferentes são usadas em diferentes tamanhos nominais de furo de poço. Uma vez que diâmetro de furo de poço também é exigido se obter resultados de LWD precisos e seguros, um diâmetro de furo de poço deve ser medido radialmente à medida que a ferramenta de LWD gira.

O aparelho e métodos da presente invenção podem ser usados em sistemas de LWD para determinar tanto o diâmetro de furo de poço quanto o afastamento radial à medida que a ferramenta gira. Detalhes para determinação da posição radial da ferramenta dentro do furo de poço (isto é, afastamento) e do diâmetro de furo de poço como uma função de azimute de furo de poço estão apresentados em seções subsequentes desta descrição.

#### Conceitos Básicos da Medição

Porosidade de nêutrons térmicos é determinada a partir da resposta combinada de um primeiro ou "pouco espaçado" detector de nêutrons térmicos em um primeiro espaçamento axial e um segundo ou "longamente



espaçado" detector térmico em um segundo espaçamento axial. O segundo espaçamento é maior do que o primeiro espaçamento. Uma equação geral para porosidade de nêutrons térmicos é

$$(1) \quad \Phi_{TH} = A_{th} + B_{th}(C_{SS}/C_{LS}) + C_{th}(C_{SS}/C_{LS})^2$$

5 onde

$\Phi_{TH}$  = porosidade de nêutrons térmicos;

$C_{LS}$  = a taxa de contagem gravada no detector espaçado longamente;

$C_{SS}$  = a taxa de contagem gravada no detector pouco espaçado;

10 e

$A_{th}$ ,  $B_{th}$  e  $C_{th}$  são constantes de calibração que são funções de tamanho de furo de poço e afastamento. Outros polinômios ou funções polinomiais racionais podem ser usados para relacionar a razão de taxa de contagem de nêutrons com porosidade.

15 Deve ser notado que uma vez que a razão de taxas de contagem de detector é usada, os efeitos de intensidade de fonte, eficiências de detector, geometrias de fonte e detector, espaçamentos axiais fonte-detector e de características sistemáticas de circuito detector "se anulam" matematicamente. Detalhes desta medição de porosidade de nêutrons térmicos de  
20 duplo detector foram introduzidos anteriormente nesta descrição pela referência.

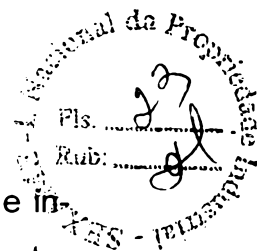
Porosidade de nêutrons epitérmicos é determinada a partir da resposta de um único detector de nêutrons epitérmicos deslocado axialmente da fonte de nêutrons. Por causa de sensibilidade reduzida por unidade de  
25 volume do detector de nêutrons epitérmicos, o espaçamento axial é menor do que o de cada um dos detectores de nêutrons térmicos. Uma equação geral para porosidade de nêutrons epitérmicos é

$$(2) \quad \Phi_E = A_e + B_e(C_{EPI}) + C_e(C_{EPI})^2$$

onde

30  $\Phi_E$  = porosidade de nêutrons epitérmicos;

$C_{EPI}$  = o inverso da taxa de contagem gravada no detector de nêutrons epitérmicos;



$A_e$ ,  $B_e$  e  $C_e$  são constantes de calibração que são função de intensidade de fonte de nêutrons, eficiência de detector, geometria de fonte-detector, espaçamento de fonte-detector, diâmetro de furo de poço e afastamento. Outras funções podem ser usadas para descrever a relação entre a taxa de contagem de nêutrons epitérmicos e porosidade.

Medições de porosidade de nêutrons epitérmicos estão descritas com mais detalhes em descrições introduzidas anteriormente pela referência. Nota-se que uma vez que somente um detector epitérmico é usado, os efeitos de intensidade de fonte de nêutrons, eficiência de detector, geometria de fonte-detector, espaçamento de fonte-detector não se anulam matematicamente tal como eles fazem na medição de duplo detector de nêutrons térmicos. Como resultado, a parte epitérmica da ferramenta de porosidade de nêutrons deve ser calibrada ambientalmente de forma frequente, e é preferido que uma fonte de nêutrons específica sempre seja usada com uma ferramenta específica.

A resposta de porosidade de nêutrons epitérmicos foi modelada para uma ampla faixa de condições de furo de poço, condições da formação e afastamento de ferramenta de nêutrons. Estes resultados estão resumidos nas figuras 3a-3c, as quais são representações gráficas da diferença entre porosidade de nêutrons epitérmicos medida e porosidade de formação verdadeira ( $\Phi_E - \Phi_{VERDADEIRA}$ ) representada graficamente como uma função da porosidade de formação verdadeira. Em cada ilustração, a salinidade de furo de poço varia de 0 a 250 mil partes por milhão (kppm) de NaCl, salinidade da formação varia de 0 a 250 kppm de NaCl, peso de lama varia de por galão 0,99 a 2,15 quilos por litro (8,33 a 18 libras), e as litologias são calcário, dolomita, arenito e xisto.

A figura 3a ilustra ( $\Phi_E - \Phi_{VERDADEIRA}$ ) *versus*  $\Phi_{VERDADEIRA}$  para um furo de poço de 20,3 centímetros (8 polegadas) e nenhum afastamento de ferramenta. Grupos de pontos de dados modelados estão mostrados nas porosidades verdadeiras 0,0, 10, 20, 30 e 40 em unidades de porosidade (pu). As curvas 64 encaixadas através de pontos de dados correspondentes são relativamente planas e não são funções fortes de porosidade verdadeira.

Todos os valores de  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  são negativos, o que pode ser usado como um critério de rejeição na determinação de tamanho de furo de poço e afastamento de ferramenta.

A figura 3b ilustra  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  *versus*  $\Phi_{\text{VERDADEIRA}}$  para furos de poços de diâmetros de 20,3 centímetros (8,0 polegadas), 25,4 centímetros (10 polegadas) e 30,5 centímetros (12 polegadas). Tal como na figura 3a, não existe afastamento de ferramenta. Os pontos de dados 70 estão novamente mostrados nas porosidades verdadeiras 0,0, 10, 20,30 e 40 em unidades de porosidade (pu). As curvas 66, 68 e 69 representando  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  são encaixadas através de pontos de dados correspondentes e novamente não são uma função forte de porosidade verdadeira. Todos os valores de  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  são positivos. Variações em  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  como uma função de diâmetro de furo de poço são significativas através da faixa total de porosidade da formação de 0,0 a 40 pu. Esta medição, em princípio, pode ser usada para determinar diâmetro de furo de poço. Em sistemas de cabo de perfilagem, a almofada de articulação e o braço de apoio da subseção de densidade (vide a figura 1) produzem uma medida precisa de diâmetro de furo de poço. É preferido que esta medida de furo de poço seja usada para corrigir medidas de  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  para um diâmetro nominal de furo de poço, o qual foi selecionado como 20,32 centímetros (8,0 polegadas) com o propósito de ilustração.

A figura 3c ilustra  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  *versus*  $\Phi_{\text{VERDADEIRA}}$  de afastamentos de ferramenta de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5 polegadas) respectivamente. Os pontos de dados modelados estão representados em 72 e foram corrigidos para tamanho de furo de poço para um nominal de 20,32 centímetros (8,0 polegadas). Os pontos de dados 72 estão novamente mostrados nas porosidades verdadeiras 0,0, 10, 20, 30 e 40 em unidades de porosidade (pu). As curvas 80, 78, 76 e 74 representando  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  representando afastamentos de 3,81, 2,54, 2,27 e 0,0 centímetros (1,5, 1,0, 0,5 e 0,0 polegadas), respectivamente, não são uma função forte de porosidade verdadeira. Todos os valores de  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  são positivos. Variações em  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  como uma fun-

ção de afastamento são muito significativas através da faixa total de porosidade da formação de 0,0 a 40 pu. Esta medição é, portanto, usada para determinar afastamento de ferramenta.

#### Aplicações de Cabo de Perfilagem

5 A ferramenta de combinação de cabo de perfilagem 10 que compreende uma subseção de densidade 12, uma subseção de porosidade de nêutrons 22 e uma subseção de acústica 30 mostrada na figura 1 será usada para ilustrar a invenção construída em um sistema de cabo de perfilagem. Tal como mencionado anteriormente, a seção de acústica centralizada

10 disposta acima da subseção de porosidade de nêutrons e a subseção de densidade descentralizada disposta abaixo da subseção de porosidade de nêutrons tipicamente introduz inclinação e afastamento indesejáveis na subseção de porosidade de nêutrons.

Usando dados discutidos nas apresentações gráficas anteriores,

15 afastamento verdadeiro de ferramenta (em polegadas) está representado graficamente como uma função de  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  na figura 4. Uma linha reta 82 foi encaixada através dos pontos de dados 85 medidos nos afastamentos de ferramenta de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5 polegadas). A inclinação da linha 82 indica uma sensibilidade em  $(\Phi_E -$

20  $\Phi_{\text{VERDADEIRA}})$  de cerca de 2,54 centímetros (20 pu por polegada) de afastamento. Para um valor medido ou estimado 84 de  $(\Phi_E - \Phi_{\text{VERDADEIRA}})$ , um valor medido correspondente de afastamento 86 pode ser determinado, tal como ilustrado graficamente na figura 4. Se  $\Phi_{\text{VERDADEIRA}}$  for estimado a partir da resposta da subseção de densidade 12 (ver a figura 1), a figura 5 mostra um

25 gráfico correspondente de afastamento medido como uma função de afastamento verdadeiro. Uma linha 89 foi encaixada através dos pontos de dados 88 medidos nos afastamentos verdadeiros de ferramenta de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5 polegadas). Considerando a dispersão de pontos de dados, a precisão do afastamento medido é da ordem

30 de 0,38 centímetro (+/- 0,15 polegada).

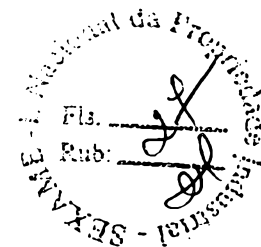
A figura 6 é similar à figura 4, mas mostra afastamento de ferramenta representado graficamente como uma função de  $(\Phi_E - \Phi_{\text{Th}})$  para afas-

tamentos de ferramenta de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0, e 1,5 polegadas). O parâmetro  $\Phi_{Th}$  é uma porosidade de nêutrons térmicos aparente obtida da resposta da medição de porosidade de nêutrons térmicos (não corrigida) da subseção 22 mostrada na figura 1. Uma linha reta 90 foi encaixada aos pontos de dados 91 medidos nos afastamentos de ferramenta de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5 polegadas). A inclinação da linha 90 novamente indica uma sensibilidade em  $(\Phi_E - \Phi_{Th})$  de cerca de 2,54 centímetros (20 pu por polegada) de afastamento. Para um valor medido 92 de  $(\Phi_E - \Phi_{Th})$ , um valor medido correspondente de afastamento 94 pode ser determinado, tal como ilustrado graficamente na figura 6. Com  $\Phi_{Th}$  sendo uma estimativa de porosidade obtida da parte de nêutrons térmicos da subseção de porosidade de nêutrons 22 (ver a figura 1), a figura 7 mostra um gráfico correspondente de afastamento medido como uma função de afastamento verdadeiro. Uma linha 96 foi encaixada através dos pontos de dados 97 medidos nos afastamentos de ferramenta verdadeiros de 0,0, 1,27, 2,54 e 3,81 centímetros (0,0, 0,5, 1,0 e 1,5 polegadas). Considerando a dispersão de pontos de dados, a precisão do afastamento medido é um pouco menor (mas ainda aceitável) do que a precisão usando uma porosidade de densidade tal como mostrado na figura 5.

Neste ponto, afastamento de subseção de porosidade de nêutrons de cabo de perfilagem (SO) tem sido obtido usando metodologias da presente invenção. Diâmetro de furo de poço (BHD) tem sido obtido a partir de uma medição independente tal como de um calibrador mecânico de uma subseção de densidade. Uma porosidade de nêutrons térmicos corrigida para um sistema de cabo de perfilagem,  $\Phi_{C,WL}$ , corrigida para todas as condições ambientais é obtida usando métodos expostos na publicação "Experimental Determination of Environmental Corrections for a Dual-Spaced Neutron Porosity Log" referenciada anteriormente. A relação funcional matemática geral  $F_W$  para ferramentas de cabo de perfilagem é

$$(3) \quad \Phi_{C,WL} = F_W(\Phi_{Th}, SO, BHD, ENV)$$

onde ENV são outras correções ambientais discutidas na publicação "Experimental Determination of Environmental Corrections for a Dual-



Spaced Neutron Porosity Log" e  $\Phi_{TH}$  é dada pela equação (1).

Dados medidos são preferivelmente transmitidos por telemetria para a superfície por meio de um sistema de telemetria de cabo de perfilagem, e computações são executadas preferivelmente no processador de superfície disposto no equipamento de superfície 36.

#### Aplicações de LWD

Tal como mencionado anteriormente, os mesmos conceitos de porosidade de nêutrons podem ser aplicados em sistemas tanto de cabo de perfilagem quanto de LWD. Aplicações de LWD exigem determinações radiais de diâmetro de furo de poço e afastamento de ferramenta. A subseção de porosidade de nêutrons 48 (ver a figura 2) é calibrada para operar centralizada radialmente dentro de um furo de poço de um dado diâmetro. Na prática, a subseção nunca está exatamente centralizada dentro do furo de poço. Como um exemplo, assumir que a ferramenta de LWD de combinação de densidade-porosidade de nêutrons 40 representada na figura 2 tem um diâmetro da lâmina estabilizadora 47 de 30,0 centímetros (8,25 polegadas) e uma subseção de porosidade de nêutrons de 18,3 centímetros (7,2 polegadas) de diâmetro. Este tamanho de ferramenta é tipicamente utilizado em furo de poço de diâmetro de 21,6 centímetros (8,5 polegadas). Se uma lâmina de densidade 47 estiver no lado de baixo do furo de poço 30, a subseção de porosidade de nêutrons 48 estará se afastando de 1,40 centímetros (0,55 polegada) do lado de baixo do furo de poço, e se afastando de 1,91 centímetros (0,75 polegada) do lado alto do furo de poço. Portanto, o afastamento pode variar à medida que a ferramenta de LWD 40 gira dentro do furo de poço 30. Além disso, desmoronamentos na parede de furo de poço tornam o furo de poço visto por uma subseção de porosidade de nêutrons giratória 48 assimétrico.

Tal como também mencionado anteriormente, a ferramenta de LWD 40 carece de uma medição de calibrador de furo de poço mecânico na ferramenta de LWD. Relatado em um outro modo, diâmetro de furo de poço não pode ser medido mecanicamente com uma ferramenta de LWD girando. Um conhecimento anterior do diâmetro de furo de poço (tal como um diâme-

tro de broca) não pode ser usado como um substituto para um calibrador uma vez que diâmetro de furo de poço tipicamente varia com profundidade, e ferramentas de diâmetros diferentes são usadas em diferentes tamanhos nominais de furo de poço.

5 O aparelho e métodos da presente invenção podem ser usados em sistemas de LWD para determinar tanto o diâmetro de furo de poço quanto o afastamento radial à medida que a ferramenta gira. Resultados podem ser apresentados como "imagens" seccionais transversais da ferramenta dentro do furo de poço. Ambos os valores de diâmetro de furo de poço e de afastamento são necessários para corrigir a medição de porosidade de 10 nêutrons térmicos. Além do mais uma imagem de furo de poço tem muitas aplicações nas áreas de mecânica de perfuração e estabilidade de furo de poço.

A diferença entre a porosidade de nêutrons epitérmicos aproximada e a de térmicos tradicional ( $\Phi_E - \Phi_{Th}$ ) pode ser usada para primeiro 15 determinar um diâmetro aparente de furo de poço em ângulos azimutais predeterminados à medida que a ferramenta de LWD 40 gira. Estes diâmetros de furo de poço aparentes azimutais podem então ser usados para determinar um diâmetro de furo de poço e afastamentos azimutais médios. A metodologia preferida é usar um algoritmo abrangente para determinar o 20 diâmetro aparente de furo de poço, onde o algoritmo usa respostas e combinações de respostas dos dois detectores de nêutrons térmicos e um de epitérmicos para compensar vários efeitos de furo de poço e da formação. Uma vez que existem os três detectores 51, 52 e 53 na subseção de porosidade de nêutrons 48, as seguintes respostas de detector e respostas de combinações de detectores estão disponíveis: 25

$R_{SS/LS} = C_{SS}/C_{LS}$  = a razão da taxa de contagem de detector térmico pouco espaçado para a de térmico espaçado longamente;

$R_{E/SS} = C_{EPI}/C_{SS}$  = a razão da taxa de contagem de detector epitérmico para a de térmico pouco espaçado; 30

$R_{E/LS} = C_{EPI}/C_{LS}$  = a razão da taxa de contagem de detector epitérmico para a de térmico espaçado longamente;



$1/C_{SS}$  = o inverso da taxa de contagem de detector térmico pouco espaçado;

$1/C_{LS}$  = o inverso da taxa de contagem de detector térmico espaçado longamente; e

5  $1/C_{EPI}$  = o inverso da taxa de contagem de detector epitérmico.

Constatou-se que uma relação geral da forma seguinte é mais apropriada para determinação de tamanho de furo de poço (aparente):

$$(4) \quad BHD = F(\Phi(R_{SS/LS}), (\Phi(R_{SS/LS}) - \Phi(1/C_{EPI})), (\Phi(1/C_{EPI}) - \Phi(1/C_{SS}), MW, MIN)$$

10 onde BHD é o diâmetro aparente de furo de poço,  $\Phi(X)$  é a porosidade aparente computada usando respostas de detector e respostas de combinação de detectores listadas acima, MW e MIN são peso de lama e mineralogia da formação que devem ser fornecidos a partir de fontes independentes, e F é uma função linear ou uma quadrática. Um grande conjunto de dados de modelagem foi usado para testar este algoritmo mostrado de forma geral na equação (4). Estes dados foram gerados para uma subseção de porosidade de nêutrons de LWD 48 de diâmetro 17,1 centímetros de (6,75 polegadas), diâmetros de furo de poço variando de 21,6 a 25,4 centímetros (8,5 a 10 polegadas), pesos de lama variando de 0,99 a 2,15 quilos por litro (8,33 a 18 libras por galão), salinidades de água de furo de poço variando de 0 a 250 mil partes por milhão (kppm) de NaCl, salinidades da formação variando de 0 a 250 kppm, e para formações de calcário, dolomita, arenito e xisto com porosidade variando de 0% a 60%. Tal como indicado, a função de caracterização de furo de poço mostrada na equação (4) exige dois parâmetros de entrada:

(1) mineralogia da formação (calcário, dolomita, areia/xisto); e

(2) peso de lama.

Entretanto, o algoritmo é de autocompensação para os efeitos de porosidade da formação, salinidade de água de furo de poço e salinidade da formação.

A figura 8 é um gráfico de diâmetro computado de furo de poço

como uma função de diâmetro real de furo de poço usando o algoritmo mostrado na equação (4). Este gráfico ilustra a precisão do diâmetro de furo de poço calculado com a subseção de porosidade de nêutrons centralizada no furo de poço, e para os estados de furo de poço e condições da formação indicados anteriormente depois de corrigir o peso de lama e mineralogia da formação. Dispersões de pontos de dados nos diâmetros reais de furo de poço designados estão mostradas em 104. Uma linha reta 100 foi encaixada a estes dados para diâmetros de furo de poço variando de 21,6 a 25,4 centímetros (8,0 a 10 polegadas). A dispersão dos dados está ilustrada pelas linhas 101 e 102. A precisão do algoritmo é de  $\pm 0,64$  centímetro ( $\pm 0,25$  polegada) até diâmetros de furo de poço de 25,4 centímetros (10 polegadas).

A equação (4) é o diâmetro aparente de furo de poço em qualquer ângulo azimutal. A média dos diâmetros aparentes em todos os ângulos (de 0 a 360 graus) é o diâmetro médio de furo de poço. A diferença entre o diâmetro aparente de furo de poço em um dado ângulo azimutal e o diâmetro médio de furo de poço (dividido por 2) é o afastamento de ferramenta nesse ângulo azimutal.

A figura 9 é uma seccional transversal que mostra uma imagem seccional transversal da posição radial (isto é, da subseção de porosidade de nêutrons 48) determinada em diâmetros de furo de poço de amostra de 22,2 centímetros (8,75 polegadas) mostrada como uma curva de linha tracejada em 118, e de 25,4 centímetros (10,0 polegadas) mostrada como uma curva de linha tracejada em 112. Diâmetro aparente de furo de poço e afastamento aparente estão mostrados na imagem. Computações de diâmetro aparente de furo de poço são feitas para os ângulos azimutais 110 à medida que a ferramenta gira. No exemplo mostrado na figura 9, computações são feitas para ângulos azimutais de 45 graus. As áreas sombreadas 114 e 116 ilustram incertezas nas determinações para os furos de poços de 22,2 centímetros (8,75 polegadas) e 25,4 centímetros (10,0 polegadas), respectivamente. Com o propósito de ilustração, afastamentos azimutais aparentes para ângulos azimutais representativos estão indicados em 141 para o furo

de poço de 22,2 centímetros (8,75 polegadas). Neste exemplo, a ferramenta está centralizada. Os dados representaram corretamente a posição da ferramenta no furo de poço para todos os tamanhos de furo de poço dentro da faixa relatada. A diferença chave nesta medição comparada a uma medição de densidade ou de um calibrador acústico é que esta ferramenta é calibrada centralizada e a medição não é focalizada, o que dá a ela a capacidade para conhecer a sua posição no furo de poço.

A figura 10 é um gráfico de diâmetro computado de furo de poço como uma função de diâmetro real de furo de poço novamente usando o algoritmo mostrado na equação (4). Este gráfico ilustra a precisão do diâmetro de furo de poço calculado com a subseção de porosidade de nêutrons 48 com um afastamento de 1,27 centímetros (0,5 polegada). Dispersões de pontos de dados nos diâmetros reais de furo de poço designados estão mostrados em 132. Uma linha reta 130 foi encaixada a estes dados para diâmetros de furo de poço variando de 22,3 a 25,4 centímetros (8,0 a 10 polegadas). A dispersão dos dados está ilustrada pelas linhas 136 e 134. A precisão do diâmetro de furo de poço e do afastamento radial calculados ainda está dentro de 0,63 centímetro (+/- 0,25 polegada) exceto para o furo de poço de 25,4 centímetros (10 polegadas), onde alguns dos pontos de dados estão 1,27 centímetros (0,5 polegada) fora do diâmetro verdadeiro de furo de poço. Novamente, os cálculos são para as condições de furo de poço e da formação expostas anteriormente depois de corrigir o peso de lama e mineralogia da formação.

A figura 11 é uma outra imagem seccional transversal mostrando uma posição radial descentralizada da subseção de porosidade de nêutrons 48 determinada em diâmetros de furo de poço de amostra de 22,3 centímetros (8,75 polegadas), mostrada como uma curva de linha tracejada em 118, e de 25,4 centímetros (10,0 polegadas), mostrada como uma curva de linha tracejada em 112. Tal como na figura 9, esta imagem ilustra tanto diâmetro de furo de poço quanto afastamento. As áreas sombreadas 140 e 138 ilustram incertezas nas determinações para os furos de poços de 22,3 centímetros (8,75 polegadas) e 25,4 centímetros (10,0 polegadas), respectivamente.

Computações de diâmetro aparente de furo de poço são novamente feitas para os ângulos azimutais 110 de 45 graus à medida que a ferramenta gira. Novamente com o propósito de ilustração, afastamentos azimutais aparentes para ângulos azimutais representativos estão indicados em 141 para o furo de poço de 22,3 centímetros (8,75 polegadas). Os dados representaram corretamente a posição radial da ferramenta no furo de poço para todos os tamanhos de furo de poço. O afastamento de ferramenta mínimo de 1,27 centímetros (0,5 polegada) está mostrado no "fundo" do furo de poço.

Afastamento de subseção de porosidade de nêutrons de LWD (SO) e diâmetro de furo de poço (BHD) têm sido obtidos usando metodologias da presente matematicamente pela equação (4). Uma porosidade de nêutrons térmicos corrigida para um sistema de LWD,  $\Phi_{C,LWD}$ , corrigida de todas as condições ambientais é obtida usando métodos expostos na publicação "Experimental Determination of Environmental Corrections for a Dual-Spaced Neutron Porosity Log" referenciada anteriormente. A relação funcional matemática geral  $F_{LWD}$  para ferramentas de LWD é

$$(5) \quad \Phi_{C,LWD} = F_{LWD}(\Phi_{TH}, SO, BHD, ENV)$$

onde ENV são outras correções ambientais discutidas na publicação "Experimental Determination of Environmental Corrections for a Dual-Spaced Neutron Porosity Log" e  $\Phi_{TH}$  é dada pela equação (1).

Computações são preferivelmente feitas no processador de fundo de poço disposto na seção de eletrônica e energia 54 (ver a figura 2) e transmitidas por telemetria para a superfície por meio de um sistema de telemetria.

A descrição acima é para ser considerada como ilustrativa e não restritiva, e a invenção é limitada somente pelas reivindicações que se seguem.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método para determinar afastamento de uma ferramenta dis-  
posta dentro de um furo de poço, o método compreendendo:

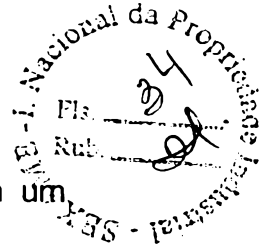
- 5 (a) dispor uma fonte isotópica de nêutrons dentro da dita ferra-  
menta;
- (b) medir uma resposta de um primeiro detector de nêutrons  
têrmicos disposto dentro da dita ferramenta em um primeiro espaçamento  
axial a partir da dita fonte;
- 10 (c) medir uma resposta de um segundo detector de nêutrons  
têrmicos disposto dentro da dita ferramenta em um segundo espaçamento  
axial a partir da dita fonte;
- (d) medir uma resposta de um detector de nêutrons epitêrmicos  
disposto dentro da dita ferramenta em um terceiro espaçamento axial a partir  
da dita fonte;
- 15 (e) computar uma porosidade de nêutrons têrmicos pela combi-  
nação das ditas primeira e segunda respostas de detector de nêutrons tér-  
micos;
- (f) computar uma porosidade de nêutrons epitêrmicos a partir da  
dita resposta do dito detector de nêutrons epitêrmicos; e
- 20 (g) computar a diferença da dita porosidade de nêutrons térmi-  
cos e a dita porosidade de nêutrons epitêrmicos e combinar a dita diferença  
com uma medida de diâmetro de furo de poço e peso de lama e litologia pa-  
ra obter o dito afastamento.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a dita ferra-  
25 menta é uma subseção de porosidade de nêutrons transportada dentro do  
dito furo de poço por um cabo de perfilagem.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, em que;

- (a) a dita porosidade de nêutrons é transportada dentro do dito  
furo de poço em combinação com uma subseção de densidade; e
- 30 (b) a dita medida de diâmetro de furo de poço é obtida de uma  
resposta de um calibrador mecânico fixado à dita subseção de densidade.

4. Método de acordo com a reivindicação 2, compreendendo



adicionalmente obter o dito afastamento a partir de computações em um processador de superfície.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a dita ferramenta é uma subseção de porosidade de nêutrons de LWD transportada dentro do dito furo de poço com uma coluna de perfuração.

6. Método de acordo com a reivindicação 5, compreendendo adicionalmente:

(a) determinar a dita diferença da dita porosidade de nêutrons térmicos e a dita porosidade de nêutrons epitérmicos em cada um de uma pluralidade de ângulos azimutais;

(b) combinar cada dita diferença da dita porosidade de nêutrons térmicos e a dita porosidade de nêutrons epitérmicos com peso de lama e litologia para determinar um diâmetro aparente de furo de poço para esse ângulo;

(c) combinar os ditos diâmetros aparentes de furo de poço para a dita pluralidade de ângulos para obter um diâmetro médio de furo de poço; e

(d) combinar o dito diâmetro médio de furo de poço com cada dito diâmetro aparente de furo de poço para obter afastamento como uma função de ângulo azimutal.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, compreendendo adicionalmente formar uma imagem seccional transversal da dita subseção de porosidade de nêutrons dentro do dito furo de poço usando o dito afastamento como uma função de ângulo azimutal e do dito diâmetro médio de furo de poço.

8. Método de acordo com a reivindicação 6, compreendendo adicionalmente obter o dito afastamento como uma função de ângulo azimutal com computações executadas em um processador de fundo de poço.

9. Aparelho para determinar afastamento de uma ferramenta disposta dentro de um furo de poço, o aparelho compreendendo:

(a) uma fonte isotópica de nêutrons disposta dentro da dita ferramenta;



(b) um primeiro detector de nêutrons térmicos disposto dentro da dita ferramenta em um primeiro espaçamento axial a partir da dita fonte;

(c) um segundo detector de nêutrons térmicos disposto dentro da dita ferramenta em um segundo espaçamento axial a partir da dita fonte;

5 (d) um detector de nêutrons epitérmicos disposto dentro da dita ferramenta em um terceiro espaçamento axial a partir da dita fonte; e

(e) um processador

para computar uma porosidade de nêutrons térmicos pela combinação das ditas primeira e segunda respostas de detector de nêutrons  
10 térmicos,

para computar uma porosidade de nêutrons epitérmicos a partir da dita resposta do dito detector de nêutrons epitérmicos, e

para computar a diferença da dita porosidade de nêutrons térmicos e a dita porosidade de nêutrons epitérmicos e para combinar a dita diferença com uma medida de diâmetro de furo de poço e peso de lama e litologia para obter o dito afastamento.  
15

10. Aparelho de acordo com a reivindicação 9, em que a dita ferramenta é uma subseção de porosidade de nêutrons transportada dentro do dito furo de poço por um cabo de perfilagem.

20 11. Aparelho de acordo com a reivindicação 10, em que;

(a) a dita porosidade de nêutrons é transportada dentro do dito furo de poço em combinação com uma subseção de densidade;

(b) o dito processador é um processador de superfície; e

(c) a dita medida de diâmetro de furo de poço é obtida de uma  
25 resposta de um calibrador mecânico da dita subseção de densidade.

12. Aparelho de acordo com a reivindicação 9, em que a dita ferramenta é uma subseção de porosidade de nêutrons de LWD transportada dentro do dito furo de poço com uma coluna de perfuração.

30 13. Aparelho de acordo com a reivindicação 12, em que o dito processador:

(a) determina a dita diferença da dita porosidade de nêutrons térmicos e a dita porosidade de nêutrons epitérmicos em cada um de uma



pluralidade de ângulos azimutais;

(b) combina cada dita diferença da dita porosidade de nêutrons térmicos e a dita porosidade de nêutrons epitérmicos com peso de lama e litologia para determinar um diâmetro aparente de furo de poço para esse  
5 ângulo;

(c) combina os ditos diâmetros aparentes de furo de poço para obter um diâmetro médio de furo de poço; e

(d) combina o dito diâmetro médio de furo de poço com cada dito diâmetro aparente de furo de poço para obter afastamento como uma função  
10 de ângulo azimutal.

14. Aparelho de acordo com a reivindicação 12, em que o dito processador é um processador de fundo de poço.

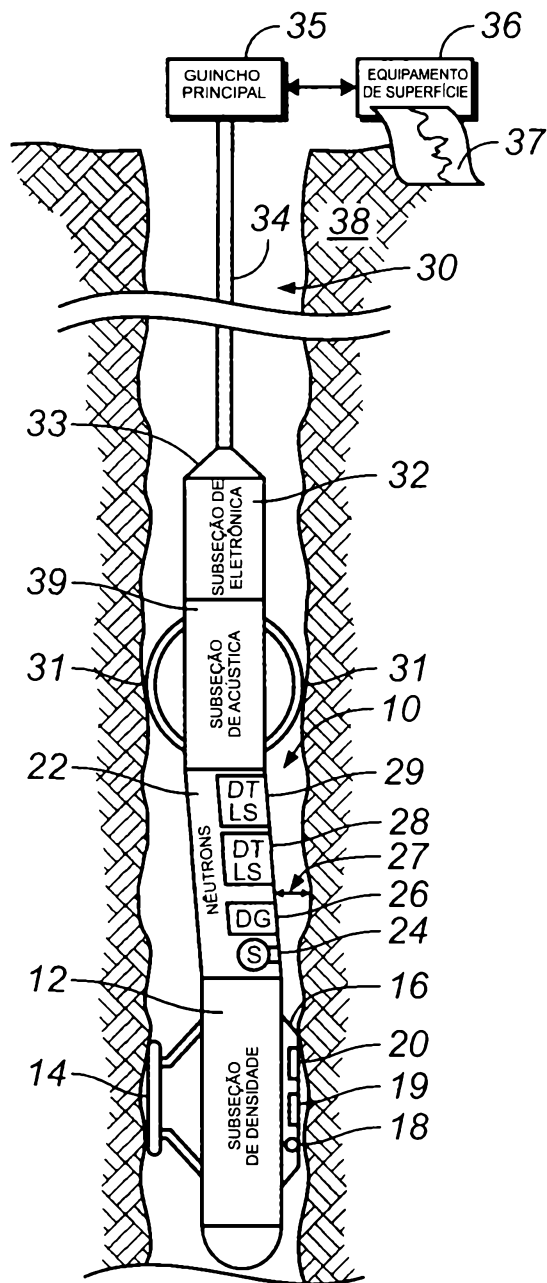


FIG. 1

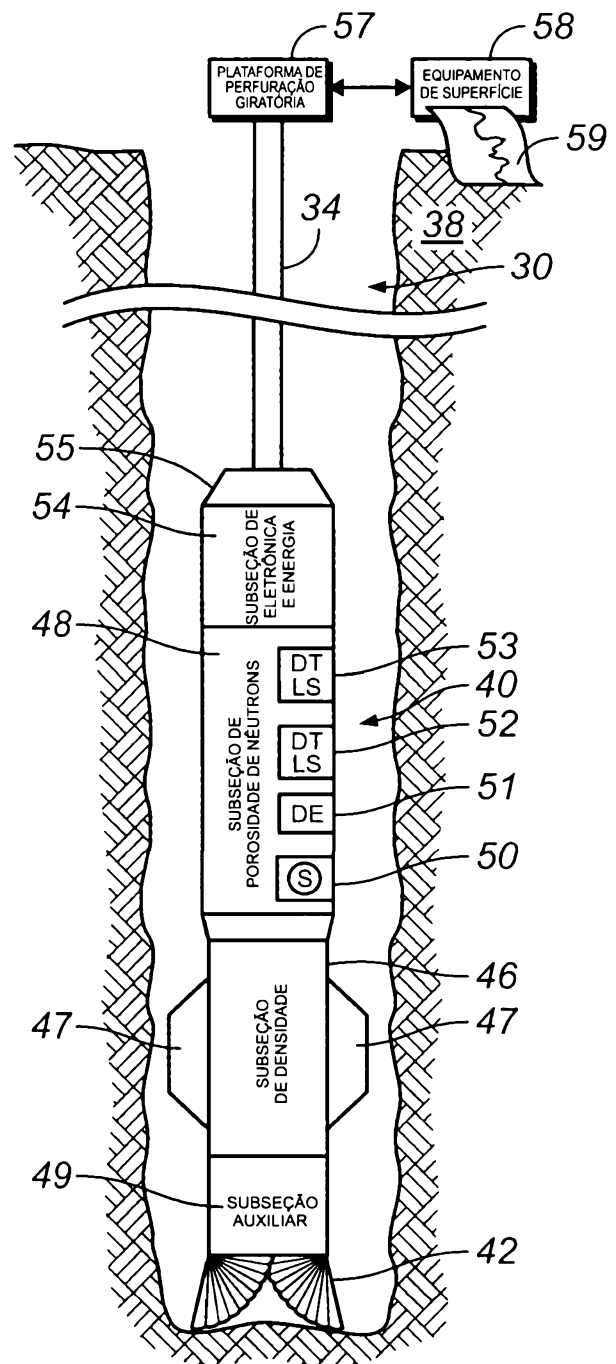


FIG. 2

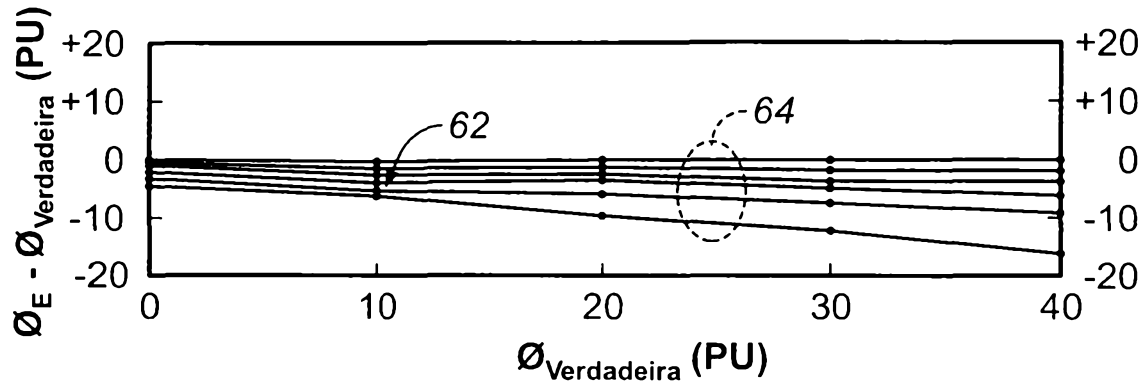


FIG. 3A

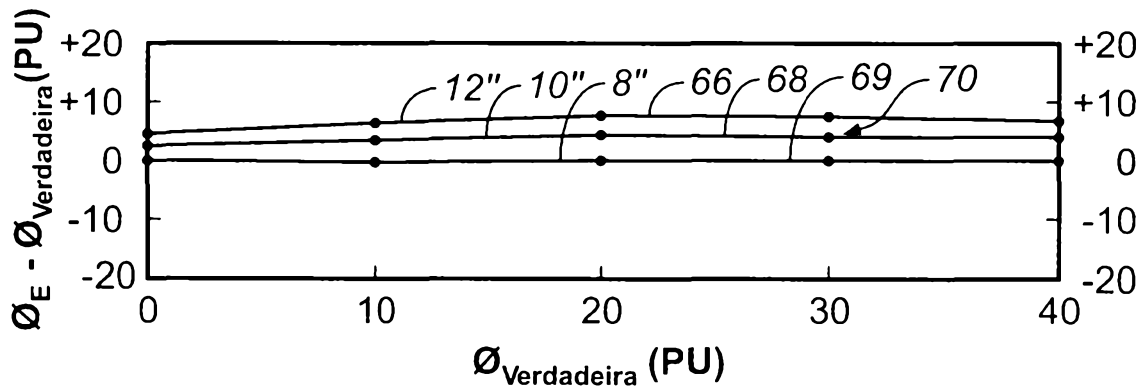


FIG. 3B

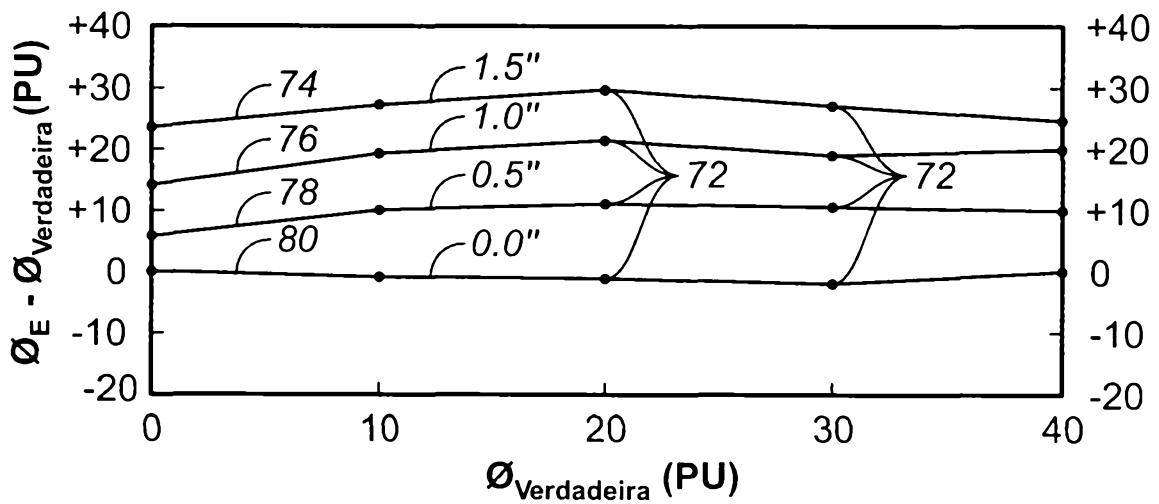


FIG. 3C

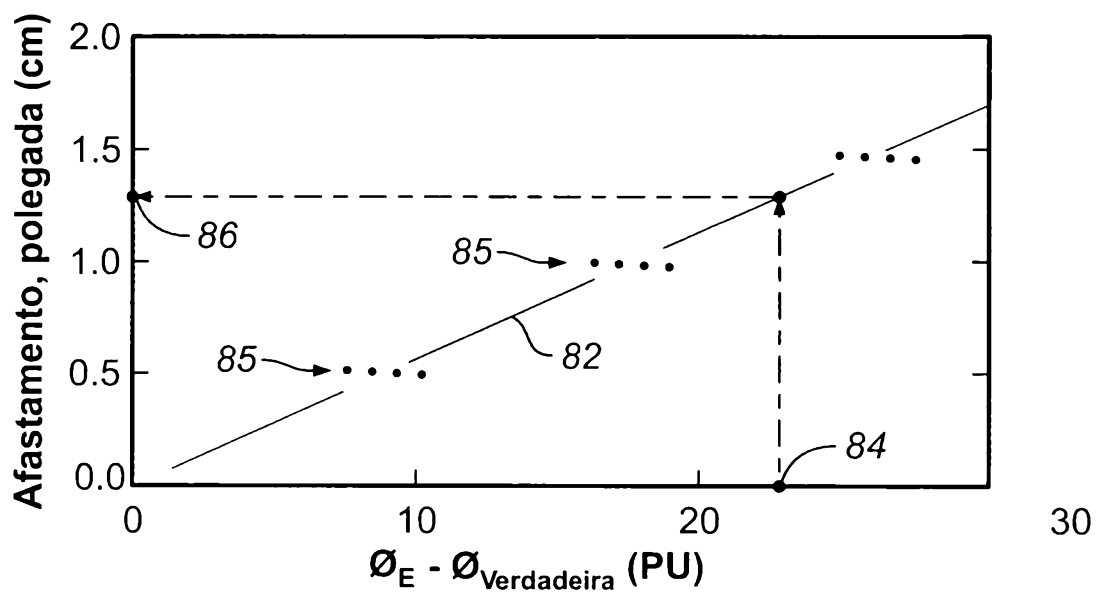


FIG. 4

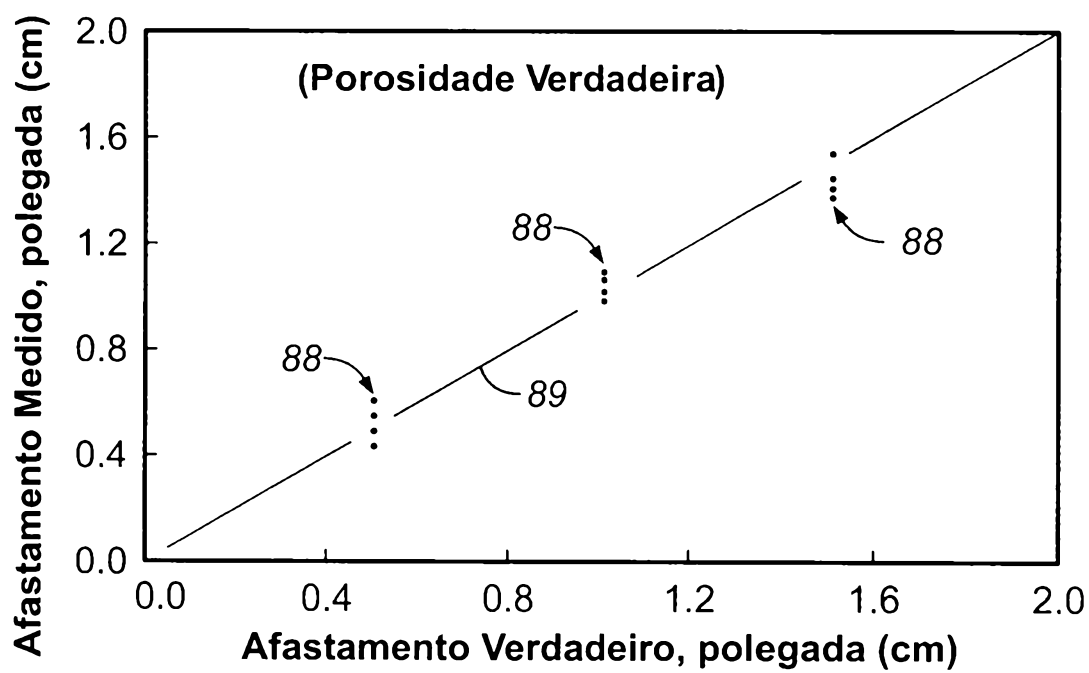


FIG. 5

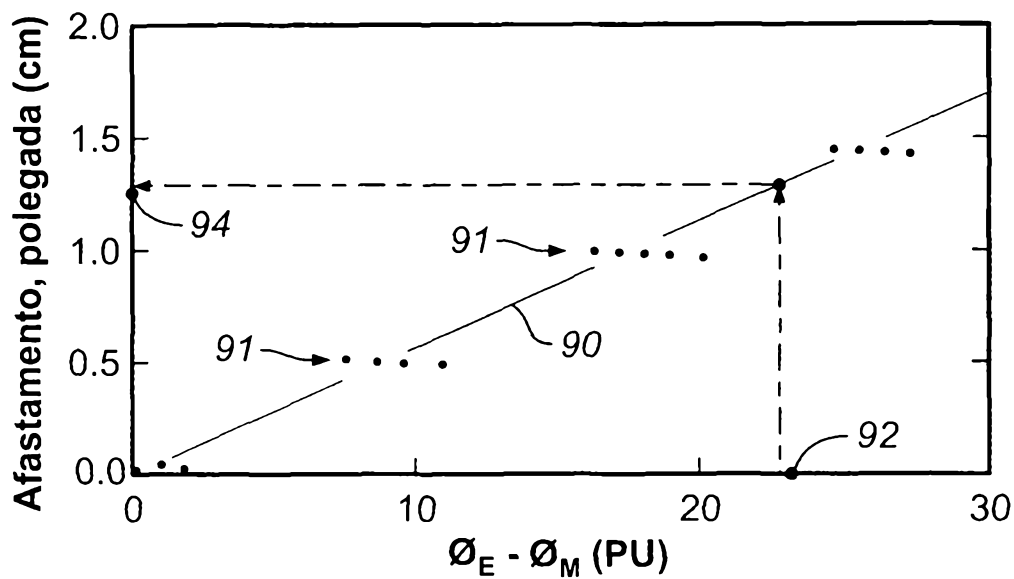


FIG. 6

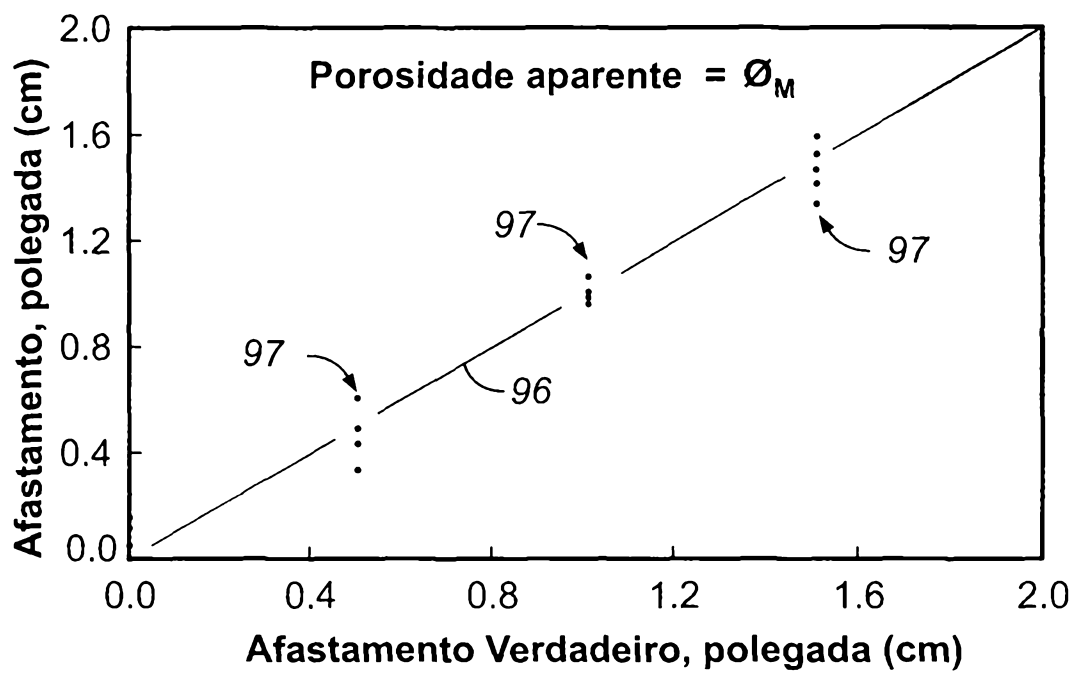
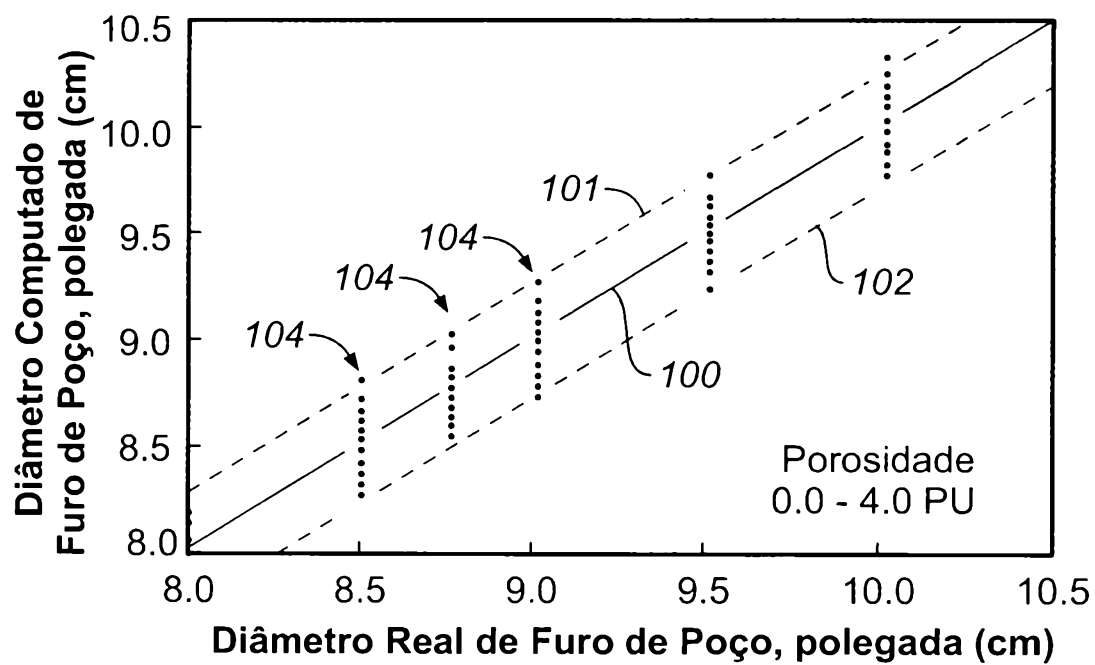
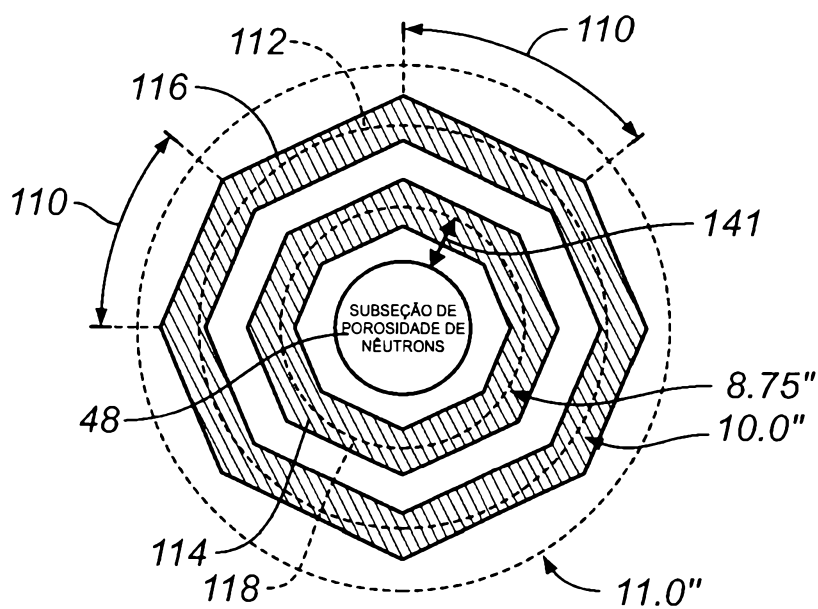


FIG. 7



**FIG. 8**



**FIG. 9**

6/6

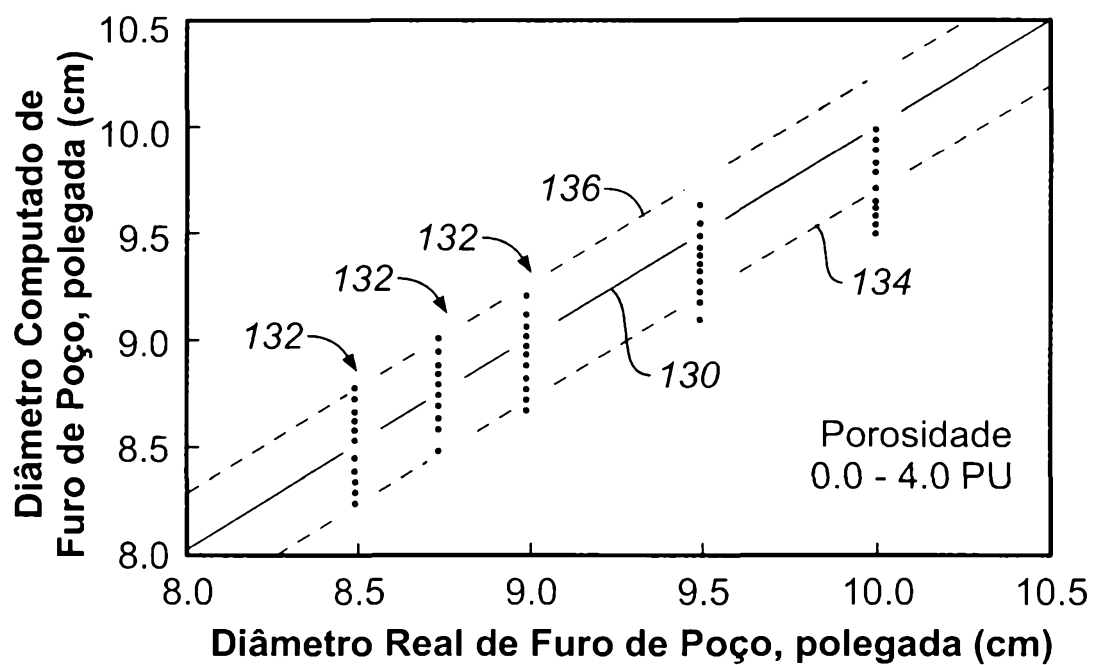


FIG. 10

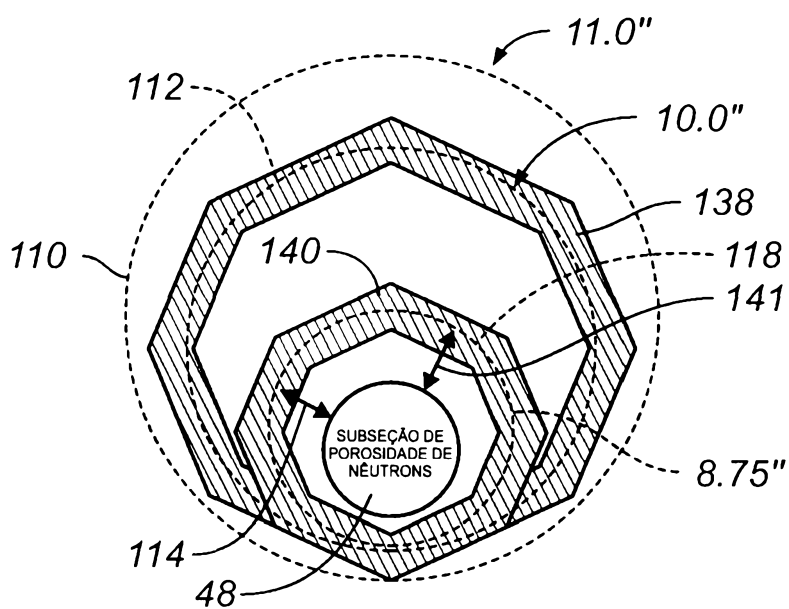


FIG. 11