



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

(21) **PI0613349-5 A2**

(22) Data de Depósito: 20/06/2006
(43) Data da Publicação: 04/01/2011
(RPI 2087)



(51) *Int.Cl.:*
G01V 3/00
G01N 27/02
G01R 27/08

(54) Título: **MÉTODO DE DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE E APARELHO DE DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE**

(30) Prioridade Unionista: 20/06/2005 US 60/692,301

(73) Titular(es): Halliburton Energy Services, Inc.

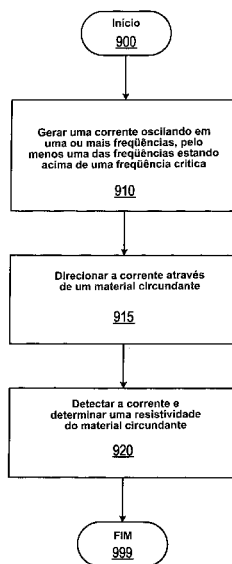
(72) Inventor(es): Marian Morys, Sergei Knizhnik, William Francis Gallagher III

(74) Procurador(es): Antonio Mauricio Pedras Arnaud

(86) Pedido Internacional: PCT US2006024056 de 20/06/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/002132 de 04/01/2007

(57) Resumo: MÉTODO DE DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE E APARELHO DE DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE. Provê-se na presente invenção um sistema e método para determinar a resistividade de material. É gerada uma corrente em uma ou mais frequências, qual corrente sendo direcionada para o material circundante. A corrente é detectada em uma ou mais frequências, e então a resistividade do material circundante é determinada.





PI0613349-5

"MÉTODO DE DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE E APARELHO DE
DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE"

Campo da Invenção

A presente invenção se relaciona à diagrafia de poços.

- 5 Mais particularmente, a presente invenção se relaciona a um método e aparelho para uma melhor injeção de corrente em uma formação e à redução do efeito da distância de separação da formação nas medições de resistividade.

10 Descrição da Técnica Relacionada

- A diagrafia de resistividade é uma técnica que mede a resistividade elétrica das formações geográficas circunvizinhas a um furo de poço, que é comumente usada para avaliar formações. Em geral, formações porosas de alta resistividade são preenchidas com hidrocarbonetos, enquanto formações porosas de baixa resistividade são saturadas de água. Uma técnica usada para medir a resistividade da formação é a diagrafia com eletrodo. A medição de resistividade pode usar vários arranjos de eletrodos em um dispositivo de diagrafia para gerar e medir potenciais e/ou correntes elétricas, com quais se determina a resistividade da formação.

- Existem várias técnicas e ferramentas de diagrafia de resistividade para executar uma diagrafia de resistividade. Uma destas ferramentas que pode ser usada na diagrafia de resistividade é uma ferramenta de diagrafia. Qual ferramenta de diagrafia tem eletrodos laterais e está descrita nas patentes U.S. Nº 3.305.771 para Arps, Nº 5.235.285 para Clark et al e S.Bonner et al
- 25 "A New Generation of Electrode Resistivity Measurements for Formation Evaluation While Drilling", SPWLA Junho de 1994, tais documentos incorporados nesta por referência. Os eletrodos são montados usando uma isolação no corpo eletricamente condutivo da ferramenta LWD, no colar da ferramenta, nas lâminas estabilizadoras, e em outras partes do corpo da ferramenta.

Durante as medições de resistividade de formação, cria-se

uma diferença de voltagem entre duas seções do colar de furação eletricamente condutivo. A ferramenta pode conter um dispositivo para gerar uma voltagem e um dispositivo para medir a corrente resultante através de um ou mais
5 eletrodos. O eletrodo para medir a corrente pode ser um eletrodo de botão ou eletrodo de anel. O eletrodo de anel compreende uma banda metálica em torno da ferramenta, enquanto o eletrodo de botão compreende um disco metálico montado no colar da ferramenta. Os eletrodos de anel e
10 botão devem ser isolados eletricamente da ferramenta. O colar ao redor do eletrodo de botão ou anel atua como uma capa de eletrodo, concentrando a maior parte da corrente do eletrodo para dentro e para fora da formação. Durante uma operação de diagrafia de resistividade, uma
15 camada de impedância pode se desenvolver no colar da ferramenta e/ou na superfície de um eletrodo e vir a afetar o fluxo da corrente entre os eletrodos e a lama e/ou fluido do furo de poço. O valor da impedância de contato depende de vários fatores (potencial de eletrodo, temperatura, material e rugosidade do eletrodo,
20 exposição, pH, salinidade do fluido, e frequência), e varia grandemente.

A camada de impedância superficial pode provocar uma corrente diferente daquela de uma ferramenta perfeita
25 sem impedância superficial. Quando a corrente flui para dentro e para fora out um eletrodo ou para dentro e para fora do colar através de uma camada de impedância superficial, produz-se uma queda de voltagem e o potencial imediatamente externo ao metal se torna
30 diferente do potencial interno ao metal. Um efeito particularmente danoso ocorre sempre que dois eletrodos próximos (i.e., um eletrodo e o colar da ferramenta) têm diferentes impedâncias superficiais. Nesta situação, o potencial imediatamente externo ao eletrodo será
35 diferente daquele imediatamente externo ao colar da ferramenta. Esta diferença faz a corrente fluir entre o eletrodo e o colar da ferramenta, afetando a corrente

que flui através da formação. Quanto menor a resistência da lama, maior será o efeito da impedância superficial.

Outro efeito negativo da camada de impedância superficial é a redução da efetividade do colar de ferramenta, que atua como capa de eletrodo, reduzindo a nitidez da medição de contraste das finas camadas de formação de diferentes condutividades, reduzindo a resolução azimutal e vertical da ferramenta.

Um tipo de ferramenta de diagrapia que minimiza o efeito da impedância superficial emprega eletrodos separados para monitoramento de voltagem para detectar a voltagem da lama perto da superfície da ferramenta. Os eletrodos não produzem essencialmente nenhuma corrente, portanto, não são afetados pela impedância superficial. A calibragem é conseguida por um loop de retorno que ajusta a corrente de pesquisa ou operação para manter os eletrodos de monitoramento na mesma voltagem.

O diâmetro de um típico eletrodo de botão em uma ferramenta de diagrapia de resistividade é cerca de 1 pol, mas tendo dois eletrodos de monitoramento, o diâmetro do conjunto de eletrodos pode ser maior que 2 pol. Uma vez que o conjunto de eletrodos tipicamente é colocado em um colar de ferramenta, nas lâminas estabilizadoras, ou em outras partes do corpo de ferramenta, o eletrodo fica muito vulnerável no ambiente de furação. Portanto, o uso de eletrodos separados de monitoramento de voltagem na ferramenta de diagrapia de resistividade minimiza o efeito da impedância superficial durante a medição de resistividade, tornando a ferramenta mais complexa, e reduzindo a confiabilidade da mesma em um ambiente LWD.

Sumário da Invenção

Em um aspecto, é descrito um método de diagrapia de resistividade, que compreende as etapas de: gerar uma corrente, oscilando em uma ou mais frequências, onde pelo menos uma das frequências deve estar acima da frequência crítica; direcionar a corrente através de um material

circundante; detectar a corrente e, em resposta à detecção, determinar a resistividade do material circundante em uma ou mais frequências.

Em outro aspecto, é descrito um aparelho de diagrafia de resistividade, que compreende: um dispositivo gerador de corrente, que é operável para gerar uma corrente oscilando em uma ou mais frequências, pelo menos uma das frequências acima de uma frequência crítica; um ou mais eletrodos acoplados ao dispositivo gerador para
5
10
15
direcionar a corrente no meio circundante; e um dispositivo de análise acoplado aos um ou mais eletrodos, que é operável para detectar a corrente e determinar a resistividade do material circundante.

Acrescenta-se que inúmeras outras configurações adicionais também seriam possíveis.

Descrição Resumida dos Desenhos

Outros objetivos e vantagens da presente invenção serão aparentes a partir da leitura da descrição detalhada em conexão com os desenhos anexos. Nos quais:

20 A figura 1 é um diagrama que mostra um eletrodo montado na superfície de uma ferramenta de furação, de acordo com uma configuração;

A figura 2 é um diagrama que mostra uma vista lateral de uma ferramenta de furação tendo um eletrodo montado na
25 superfície da ferramenta e uma circuitagem conectada ao eletrodo, de acordo com uma configuração;

A figura 3A é um diagrama que mostra um arranjo de teste para executar um teste de impedância superficial, de acordo com uma configuração;

30 A figura 3B é um diagrama que mostra um modelo resistência/ capacitância RC do arranjo de teste mostrado na figura 3A, de acordo com uma configuração;

As figuras 4A e 4B são gráficos que mostram a magnitude e fase medidas da impedância do arranjo de teste e modelo
35 RC mostrados na figura 3, de acordo com uma configuração;

A figura 5 é um gráfico que mostra como vários parâmetros no arranjo de teste e modelo RC mostrados na figura 3

mudam ao longo do tempo em uma frequência de 1 KHz, de acordo com uma configuração;

A figura 6 é um diagrama que mostra um outro arranjo de teste para determinar a resposta de botão azimutal e
5 resposta separação *versus* frequência, de acordo com uma configuração;

A figura 7 é um gráfico de resistividade *versus* ângulo azimutal com dados colhidos usando o arranjo de teste mostrado na figura 6 em um número de frequências com uma
10 separação de 1/4 em um fluido de 0,1 ohm-metro, de acordo com uma configuração.

A figura 8 é um gráfico de condutividade *versus* separação, com dados colhidos usando o arranjo de teste da figura 6 em um número de frequências, de acordo com
15 uma configuração; e

A figura 9 é um diagrama de fluxo descrevendo um método para detectar a corrente através de um material, para medir a resistividade do material.

Embora a presente invenção seja sujeita a várias
20 modificações e formas alternativas, configurações específicas da mesma são mostradas em forma de exemplo nos desenhos e na descrição que se segue. No entanto, deve ser entendido que estes desenhos e descrição não limitam a invenção a estas configurações
25 particulares. No entanto, esta especificação pretende cobrir todas as modificações e equivalentes contidas no escopo da invenção, qual escopo sendo definido somente pelas reivindicações anexas.

Descrição Detalhada

30 Uma ou mais configurações da presente invenção serão descritas a seguir. Deve ser entendido que estas e outras configurações são meramente exemplares e são meramente ilustrativas, e de nenhuma forma limitantes. Embora a presente invenção seja amplamente aplicável a diferentes
35 tipos de sistemas, é impossível incluir todas as possíveis configurações e contextos nesta especificação. Através de uma leitura atenta desta especificação,

muitas configurações alternativas serão aparentes àqueles habilitados na técnica.

A figura 1 é um diagrama que mostra um eletrodo montado na superfície de uma ferramenta de furação, de acordo com uma configuração. O eletrodo 115 sendo mostrado montado na superfície da ferramenta de furação 110. O eletrodo então é isolado do corpo usando um isolador 120. Outras formas e arranjos de eletrodos também são igualmente possíveis. Por exemplo, o eletrodo poderia formar um anel em torno da ferramenta de furação, em vez de ser circular, ou o eletrodo pode formar um anel em torno dos outros eletrodos. Adicionalmente, pode haver outros eletrodos na superfície da ferramenta na direção azimutal, na direção vertical, ou em ambas direções.

Exemplos de tais eletrodos em uma ferramenta para medição de resistividade estão mostrados em "A New Generation of Electrode Resistivity Measurements for Formation Evaluation While Drilling" de S.Bonner et al, incorporado nesta por referência. Quando a ferramenta gira e avança na formação geológica, a resistividade da formação pode ser determinada verificando o fluxo de corrente através destes eletrodos. A variação da resistividade nas diferentes direções e posições pode ser usada para determinar a composição da formação para aquelas direções e posições.

Outros resultados em testes de campo com ferramenta LWD de imageamento de resistividade estão descritos em "High Resolution Visualization of New Wellbore Geology Using While-Drilling Electrical Images" para Ritter et al SPWLA 2004, publicação PP, incorporado nesta por referência.

A figura 2 é um diagrama que mostra uma vista lateral de uma ferramenta de furação tendo um eletrodo montado em sua superfície e uma circuitagem conectada ao eletrodo de acordo com uma configuração. A figura 2 mostra como o eletrodo 215 pode ser montado em uma seção da ferramenta de furação 210. O isolador 220 pode ser usado

para isolar eletricamente o eletrodo condutivo 215 do corpo condutivo da ferramenta de furação 210.

A circuitagem 225 é operável para gerar uma voltagem, e conseqüentemente uma corrente que pode fluir de/para
5 eletrodo 215 de/para o corpo da ferramenta 210. Com isto, a resistividade do material que envolve o eletrodo 215 e ferramenta 210 pode ser medida, e a composição do material estimada. A circuitagem 225 pode incluir entre outros equipamentos, amplificadores operacionais,
10 resistores, transformadores e geradores de voltagem, que são configurados para produzir voltagens em CA e CC em diferentes freqüências, amplitudes e fases. Outros tipos de eletrodos, assim como eletrodos adicionais - tendo a mesma funcionalidade do eletrodo mostrado na
15 figura 2 poderiam ser usados.

Em uma configuração, a circuitagem 225 é operável para gerar correntes em altas freqüências, assim como correntes multi-freqüência, para superar problemas que surgem a partir de uma impedância aumentada na superfície
20 do eletrodo. Tal aumento de impedância pode ocorrer ao longo do tempo, por exemplo, devido à formação de resíduos na superfície do eletrodo 215 e da ferramenta de furação 210. A patente U.S. Nº 6.373.254 de Dion, incorporada nesta por referência, descreve alguns destes
25 problemas. O aumento na impedância superficial, assim como diferenças na impedância superficial degradam o efeito de concentração de corrente e provoca ruídos artificiais para as respostas detectadas.

Em uma configuração, a precisão da resposta de eletrodo
30 pode ser melhorada usando corrente alternada em diferentes freqüências para medir a resistividade. Devido à natureza capacitiva da impedância superficial, as freqüências mais altas de corrente são menos afetadas (experimentam uma impedância reduzida) em comparação com
35 as freqüências mais baixas. Adicionalmente, quando são feitas medições em múltiplas freqüências, o comportamento da camada de impedância superficial pode ser estudado e

seus efeitos minimizados.

A figura 3A é um diagrama que mostra um arranjo de teste para medir a impedância superficial, de acordo com uma configuração. Quando os eletrodos 310 e 315
 5 (que simulam os eletrodos e/ou corpo da ferramenta de furação) são submersos em um fluido condutivo 330, (simulando lama no ambiente) no recipiente 320, espera-se que uma camada de impedância se desenvolva na superfície dos eletrodos 310 e 315. A circuitagem 355 é operável
 10 para prover uma voltagem (conseqüentemente uma corrente) em diferentes frequências, amplitudes, fases, etc.. Para estimar o comportamento desta impedância e determinar as características capacitivas da camada de impedância superficial, foi executada uma série de
 15 experiências controladas.

Em uma configuração, utiliza-se água salgada com resistividade de 0,1 ohm-metro como fluido condutivo 330. Em certos casos, as barras usadas como eletrodos são
 20 limpas com uma bucha abrasiva para que não haja nenhuma camada de impedância superficial no início da experiência. Em uma sessão, a magnitude e a fase da impedância do sistema são medidas ao longo de 2 horas, em diferentes frequências (na faixa de 100 a 10 kHz). Os dados são ajustados ao modelo RC, como na figura 3B,
 25 usando o método de quadrados mínimos, por exemplo.

A figura 3B é um diagrama que mostra o modelo de resistência-capacitância RC do arranjo de teste mostrado na figura 3A, de acordo com uma configuração. O modelo RC da impedância medida tem cinco elementos: R_t que
 30 representa a impedância real da água salgada, medida entre dois eletrodos; e R_1 , R_2 , C_1 , C_2 , que são resistências e capacitâncias associadas à camada de impedância na superfície dos eletrodos, respectivamente. Os resultados das medições e o ajuste estão mostrados
 35 na figura 4.

A figura 4 mostra um par de gráficos que mostram magnitude e fase medidas da impedância a partir de

arranjo de teste e modelo RC, mostrados na figura 3, de acordo com uma configuração.

Como mostrado nos gráficos 410 e 415 da figura 4, a impedância é significativamente mais baixa em alta
 5 frequência que em baixa frequência. A fase da impedância também se aproxima de zero em alta frequência. Isto se deve provavelmente à natureza capacitiva da impedância superficial, que parece diminuir substancialmente em frequências acima de 10 kHz. Assim, em frequências
 10 mais altas, uma estimativa mais precisa de R_t e da impedância efetiva da água salgada medida entre dois eletrodos pode ser realizada sem considerar o efeito de impedância superficial. R_t , R_1 , R_2 , C_1 , C_2 , no modelo RC variam ao longo do tempo desde o início da experiência,
 15 dependendo da composição do material circundante usado como eletrodo, da salinidade da água, do acabamento superficial do eletrodo, etc.. Mesmo com valores diferentes para estes parâmetros, no entanto, o componente capacitivo da impedância superficial será
 20 substancialmente desprezível, começando acima de uma certa frequência crítica, como mostrado na figura 4, a estimativa de R_t podendo ser dada com certa precisão sem considerar o efeito de impedância superficial.

A figura 5 é um gráfico que mostra como vários parâmetros
 25 do arranjo de teste e do modelo RC mostrados na figura 3 mudam ao longo do tempo na frequência de 1 kHz, de acordo com uma configuração.

O gráfico 510 da figura 5 mostra como R_t , R_s , C_s mudam na frequência de 1 kHz ao longo do tempo. Assume-se que
 30 $R_s = R_1 = R_2$ e $C_s = C_1 = C_2$. Como pode ser visto a partir do gráfico, R_f permanece inalterado, como esperado. R_s e C_s , de outro lado, começam a mudar cerca de 15 segundos depois de começar a experiência (depois de os eletrodos terem sido limpos com uma bucha abrasiva e submersos
 35 em um fluido). O componente real da impedância superficial R_s (associado à corrosão do eletrodo) aumenta ao longo do tempo, enquanto o componente de

capacitância C_s (associado à interface da solução fluido-eletrodo) diminui. O gráfico da figura 5 sugere que ao longo do tempo a impedância superficial deve crescer pelo menos durante os primeiros 100 minutos. A natureza abrasiva do ambiente LWD provoca a formação e remoção da corrosão de eletrodo, resultando em uma impedância superficial de eletrodo variável no tempo.

A figura 6 é um diagrama que mostra um arranjo de teste para determinar a resposta de botão azimutal e a resposta de separação, de acordo com uma configuração.

O termo "separação" (stand_off) 650 se refere à distância de separação entre a superfície do eletrodo 635 e a parede lateral do furo (terra 615). Em uma configuração, para obter um dado preciso de resistividade, a distância de separação entre a superfície do eletrodo e a parede lateral deve ser a menor possível. Uma separação menor, no entanto, deixa o eletrodo mais vulnerável a danos causados pela parede lateral no ambiente de furação LWD. Para proteger os eletrodos de impacto mecânico direto, as superfícies de eletrodo podem ser ligeiramente rebaixadas, abaixo da superfície do colar/estabilizador/ lâmina da ferramenta 620. Assim, a razão e o grau de limpeza da superfície do eletrodo e a superfície de colar/ estabilizador/ lâmina da ferramenta serão diferentes. Isto resulta em uma formação dissimilar das camadas de impedância na superfície do eletrodo 635 e o colar/ estabilizador/ lâmina da ferramenta 320, cria correntes parasitas e ruídos na resposta de resistividade do eletrodo. Tais ruídos podem ser muito pronunciados em leitos resistivos, mas também visíveis em leitos condutivos, especialmente quando cruzam interfaces de alta resistividade.

Em uma configuração, o fluido condutivo 640 pode ser água salgada com resistividade de 0,1 ohm-metro. A parede interna do cilindro é coberta com uma chapa de aço (eletrodo terra 615) para formar um eletrodo terra com uma grande área. Quando uma voltagem CA é aplicada entre

o colar da ferramenta e o eletrodo terra, a corrente flui através da água salgada lateralmente para a superfície do colar. O padrão de fluxo da corrente no arranjo de teste da figura 6 é similar ao fluxo de corrente que pode ser
 5 experimentado em uma ferramenta de resistividade em um furo de poço real. Um setor de espuma de célula fechada 620 tendo um arco de 90 graus é colocado entre a seção de colar de ferramenta e o eletrodo terra, como mostrado. A finalidade de um setor de espuma de célula fechada
 10 colocado na frente do eletrodo de botão é impedir a formação de um fluxo de corrente lateral entre o eletrodo de botão no colar da ferramenta e o eletrodo terra. Assim, qualquer corrente transmitida/ recebida pelo
 15 eletrodo será uma corrente parasita, criada por uma ineficiência na concentração de corrente do sistema de eletrodo terra com uma dada separação entre o eletrodo de botão e o setor de espuma de célula fechada.

A figura 7 é um gráfico de ângulo azimutal versus resistividade, com dados colhidos usando o arranjo de
 20 teste mostrado na figura 6 em várias freqüências, com uma distância de separação de $1/4$ em um fluido de $0,5$ ohm-metro, de acordo com uma configuração. Os resultados da experiência indicam que a concentração de corrente CA é maior em freqüências mais altas, que
 25 suporta a idéia de aumentar a precisão de imageamento, operando em freqüências acima de 1 kHz a $1,5$ kHz

O gráfico 710 da figura 7 mostra uma resposta ideal (linhas pretas cheias - "Entrada"). De acordo com a resposta ideal, a resposta de resistividade é infinita,
 30 onde o eletrodo topa a espuma isolante. Como mostrado pelas curvas remanescentes em diferentes freqüências, a resposta de resistividade do eletrodo difere da resposta ideal. No entanto, como mostrado no gráfico 710, com uma freqüência de operação mais alta, a resposta de
 35 resistividade do eletrodo se parece mais com a resposta ideal (ver a resposta para uma freqüência de 10233 kHz).

Assim, é melhor concentrar a corrente CA em uma

frequência mais alta, assim a qualidade de imagem de resistividade será melhor em uma frequência mais alta. No arranjo de teste da figura 6 se despreza a influência da profundidade de película - a medida da profundidade efetiva de penetração no campo magnético. O termo "profundidade de película" se refere à profundidade na qual a amplitude das ondas eletromagnéticas no campo chega a 37% de seu valor na superfície. A profundidade de película pode ser desprezada, quando o raio do cilindro de teste for cerca de 1 pé, enquanto a profundidade de película em um fluido de 0,1 ohm metro em 10 kHz é maior que 5 pés.

A figura 8 é um gráfico que mostra a mudança de condutividade versus separação, usando dados colhidos usando o arranjo de teste em várias frequências, de acordo com uma configuração. O gráfico 810 mostra como a condutividade se altera variando a separação em uma faixa de frequências. Os dados para este gráfico foram colhidos em uma experiência, na qual a posição azimutal do eletrodo foi colocada na frente do centro do setor de espuma de célula fechada, e variando a distância de separação entre a face do eletrodo de botão e o setor de espuma. A condutividade é definida como $1/\text{resistividade}$ e sendo medida em Siemens/ metro ou ohm/ metro. As medições de condutividade, determinadas para uma distância de separação igual a zero para cada frequência, foram usadas como valor base para calcular a mudança de condutividade relativa a cada distância de separação. Como mostrado na figura 8, a mudança de condutividade relativa a cada separação é insignificante para todas as frequências até uma distância de 0,4 polegada, que é aproximadamente igual ao raio do eletrodo. A partir deste valor, a condutividade relativa aumenta, a partir de um valor base, em relação direta com a separação. As curvas para as diferentes frequências mostram que aumentando a separação, a condutividade relativa parece diminuir, o eletrodo colhe mais corrente, e torna as medições mais

imprecisas. Como descrito, em tese, não se espera que uma corrente passe lateralmente através da espuma isolante. A figura 9 é um diagrama de blocos que descreve um método para detectar a corrente através de um material, para

5 medir a resistividade do material de acordo com uma configuração. O método começa na etapa 900, e a seguir na etapa 910, uma corrente oscilando em uma ou mais frequências é gerada, sendo que pelo menos uma das frequências da corrente é maior que uma frequência

10 crítica. Na etapa 915, a corrente é direcionada através do material circundante, e, na etapa 920, a corrente é detectada e a resistividade do material circundante é determinada em uma ou mais frequências. O método terminando na etapa 999.

15 As ferramentas de resistividade operando em ampla faixa de frequências podem produzir informações úteis. Em virtude de a corrente CA em diferentes frequências se atenuar em diferentes razões no mesmo meio condutivo, resulta uma interpretação valiosa para a resposta de

20 resistividade multi-frequência. Em algumas configurações, a diagrafia de resistividade é executada em modo multi-frequência em uma frequência acima de 1 kHz. Em algumas configurações da invenção, a frequência da corrente CA durante uma diagrafia de

25 resistividade pode ser 520 kHz ou maior. Dados mais precisos de resistividade de uma formação podem ser determinados com base na extrapolação de uma resposta de eletrodo multi-frequência para calibrar os dados de resposta, como descrito acima. Os dados de resistividade

30 de formação podem ser adicionalmente refinados com uma determinação independente da separação. A resposta de eletrodo em uma faixa de frequências pode ser usada para estimar a qualidade dos dados de diagrafia de resistividade colhidos em diferentes

35 frequências iguais ou maiores que alguns valores pré-definidos. A resposta em uma faixa de frequências também pode ser usada para colher dados de resistividade da

formação em determinadas raio a partir da ferramenta para criar uma imagem lateral da formação geológica.

Embora a presente invenção tenha sido descrita com respeito a um número limitado de configurações, aqueles
5 habilitados na técnica deverão apreciar numerosas modificações e variações da mesma. Pretende-se que as reivindicações a seguir sejam interpretadas de modo a englobar todas tais variações e modificações. Para efeito de exemplo, deve ser reconhecido que o método e
10 aparelho descritos para uma focalização melhorada de corrente e compensação de distância de folga durante medições de resistividade de formação podem ser realizados durante diagrafia de poço. Na diagrafia de poço, um dispositivo de diagrafia suspenso pelo cabo
15 é baixado no furo de poço, depois de a coluna de furação ter sido removida. O dispositivo de diagrafia executa as medições, enquanto o cabo é retirado.

Aqueles habilitados na técnica apreciarão que os vários blocos lógicos, circuitos, módulos, algoritmos, e etapas,
20 ilustrativos, que foram tomados em conexão com as configurações descritas, poderão ser implementados como hardware, software, ou uma combinação destes. Para ilustrar claramente a intercambialidade entre hardware e software, os vários componentes, blocos, módulos,
25 circuitos, e etapas ilustrativos foram descritos geralmente com respeito a funcionalidade. A implementação de tal funcionalidade por hardware ou software, depende da aplicação particular e das restrições de projeto impostas por um sistema global. Aqueles habilitados na
30 técnica poderão implementar a funcionalidade descrita de modos variados, específicos para cada aplicação pretendida, mas que de nenhum modo deve ser entendido fora do escopo da presente invenção.

Os benefícios e vantagens providos pela invenção foram
35 descritos com respeito a configurações específicas. Tais benefícios e vantagens, ou quaisquer elementos ou limitações que os proporcionem ou os tornem mais

pronunciados, não devem ser construídos como componentes críticos, requeridos, ou essenciais, quer para uma das reivindicações, algumas delas, ou todas elas.

Os termos "compreende", "compreender", ou suas variações,
5 não incluem os elementos ou limitações dados pelos mesmos. Portanto, um sistema, método, ou outras configurações que compreendem uma quantidade de elementos, não deve ser considerado limitado a somente estes elementos, e, outrossim, incluindo elementos não-
10 expressamente listados, ou inerentes à configuração reivindicada.

Embora a presente invenção tenha sido descrita com referência a certas configurações, deve ser entendido que tais configurações são meramente ilustrativas, e que o
15 escopo da invenção não se limita a estas configurações. Muitas variações, modificações, adições, e melhoramentos podem ser introduzidos nas configurações descritas acima. Contempla-se ainda que tais modificações, adições, e melhoramentos estão contidos no escopo da invenção,
20 como detalhado nas reivindicações que se seguem.

REIVINDICAÇÕES

- 1- Método de diagrafia de resistividade, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:
- gerar uma corrente oscilando em uma ou mais
 - 5 frequências, onde pelo menos uma das frequências se encontra acima de uma frequência crítica;
 - direcionar a corrente através de um material circundante; e
 - detectar a corrente, e em resposta a esta detecção,
 - 10 determinar a resistividade do material circundante em uma ou mais frequências.
- 2- Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a resistividade na frequência crítica ser mais baixa que a resistividade em frequências
- 15 mais baixas que a frequência crítica, a resistividade em frequências mais altas que a frequência crítica sendo substancialmente igual à resistividade na frequência crítica.
- 3- Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a frequência crítica ser igual a aproximadamente 1 kHz
- 20
- 4- Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a ação de detectar a corrente compreender detectar uma ou mais características de
- 25 corrente, onde tais características de corrente são escolhidas de um grupo consistindo de: amplitude, frequência, e fase.
- 5- Método, de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de adicionalmente compreender
- 30 comparar as características de corrente em uma ou mais frequências para determinar a resistividade.
- 6- Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a ação de direcionar corrente compreender direcionar a corrente usando um ou mais
- 35 eletrodos de botão ou anel.
- 7- Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a ação de gerar corrente

compreender injetar uma pluralidade de correntes geradas em frequências diferentes.

8- Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de a ação de gerar corrente
5 compreender gerar uma corrente multi-frequência.

9- Aparelho de diagrafia de resistividade, caracterizado pelo fato de compreender:

- um dispositivo gerador de corrente, que é operável para gerar uma corrente oscilando em uma ou mais
10 frequências, onde pelo menos uma destas frequências está acima de uma frequência crítica;

- um ou mais eletrodos acoplados ao dispositivo gerador de corrente, que são adaptados para direcionar a corrente através do material circundante;

15 - um dispositivo de análise acoplado aos um ou mais eletrodos, que é operável para detectar a corrente e determinar a resistividade do material circundante.

10- Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de os eletrodos serem eletrodos
20 de botão ou eletrodos de anel.

11- Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de a resistividade na frequência crítica ser mais baixa que a resistividade em frequências mais baixas que a frequência crítica, e a resistividade
25 em frequências mais altas que a frequência crítica sendo substancialmente igual à resistividade na frequência crítica.

12- Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de a frequência crítica ser igual
30 a aproximadamente 1 kHz.

13- Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de o dispositivo de análise ser adicionalmente operável para detectar uma ou mais características de corrente, onde tais características de
35 corrente são escolhidas do grupo consistindo de: amplitude, frequência, e fase.

14- Aparelho, de acordo com a reivindicação 13,

caracterizado pelo fato de o dispositivo de análise ser adicionalmente operável para comparar as características de corrente em uma ou mais frequências para determinar a resistividade.

- 5 15- Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de o dispositivo gerador de corrente ser operável para gerar uma pluralidade de correntes, cada uma delas em uma frequência diferente.
- 10 16- Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de o dispositivo gerador de corrente ser operável para gerar uma corrente multi-frequência.
- 15 17- Aparelho, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de o dispositivo gerador de corrente e o dispositivo de análise compreenderem componentes escolhidos a partir do grupo consistindo de: resistores, amplificadores operacionais, transformadores.

1/9

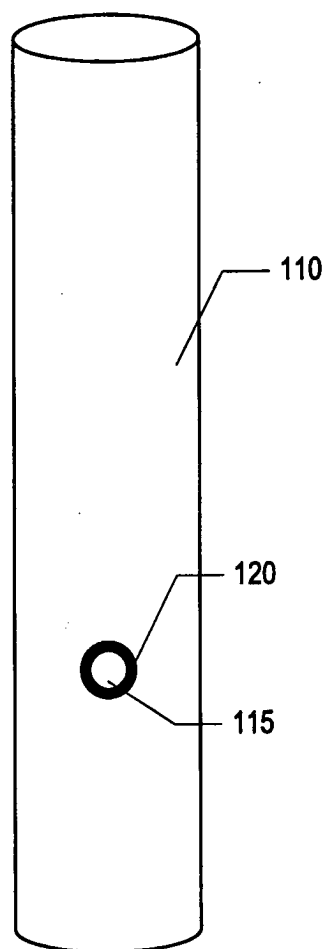


FIG.1

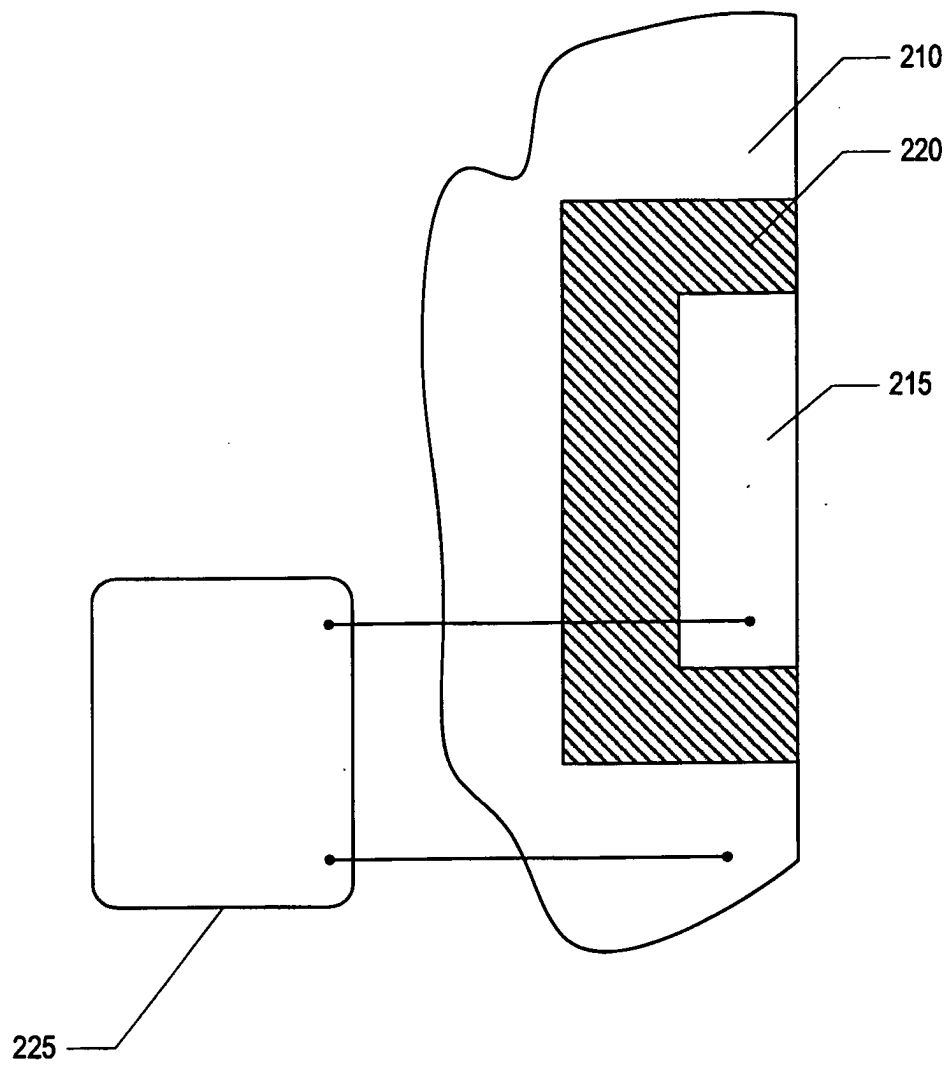


FIG.2

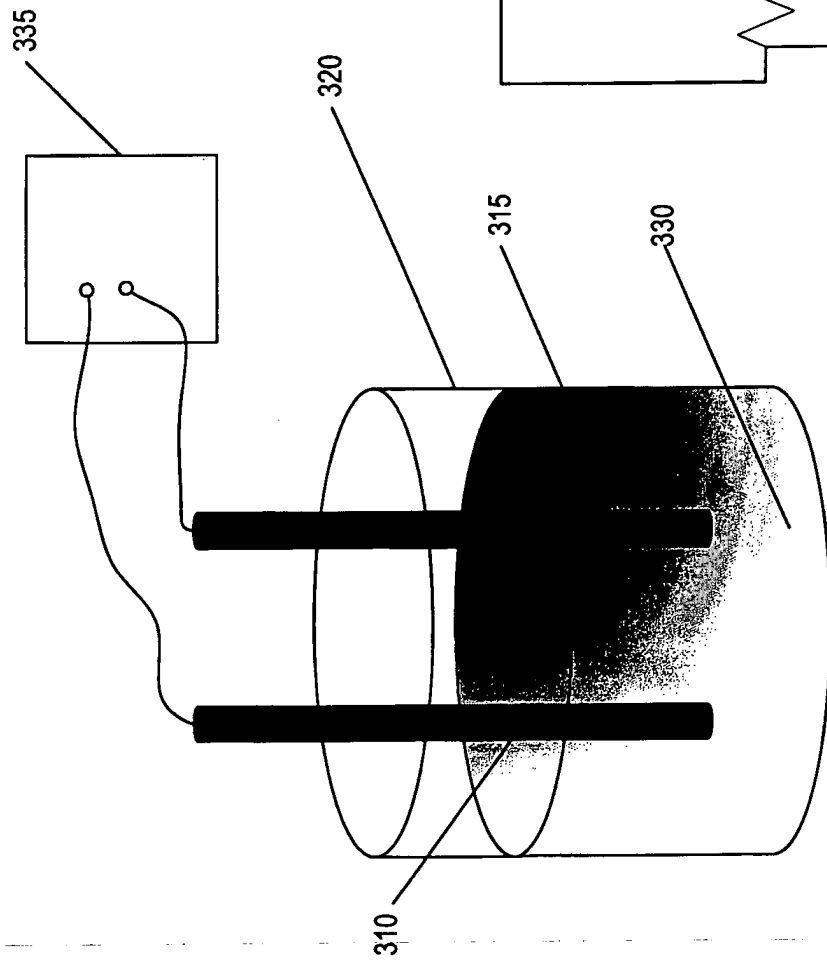


FIG. 3A

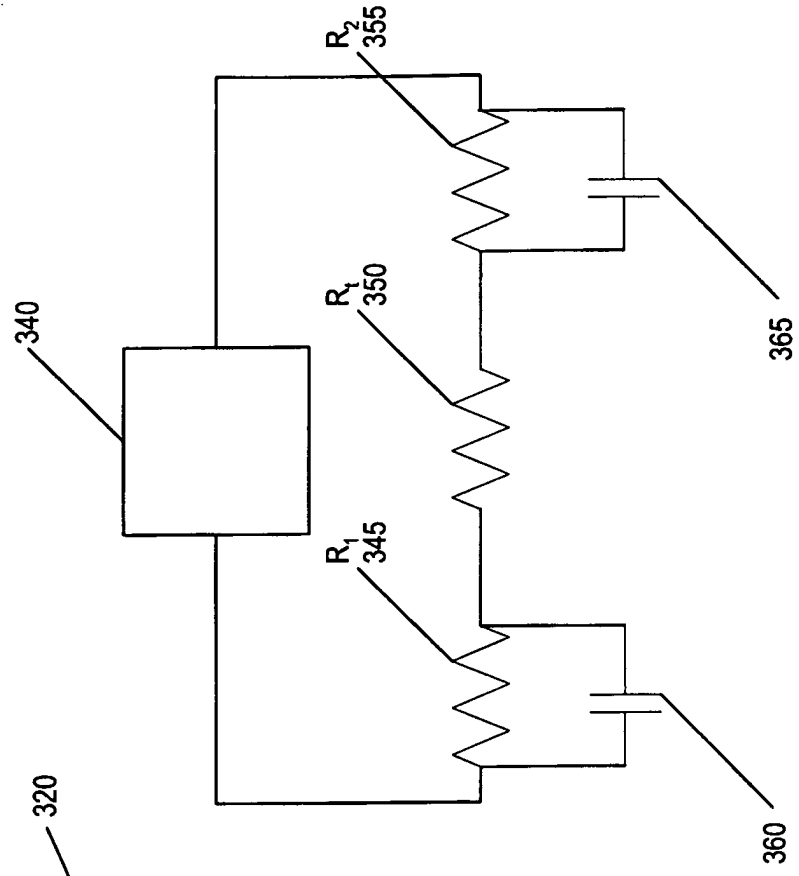


FIG. 3B

Magnitude típica de impedância
Barras em solução de 0,1 Ohm.M

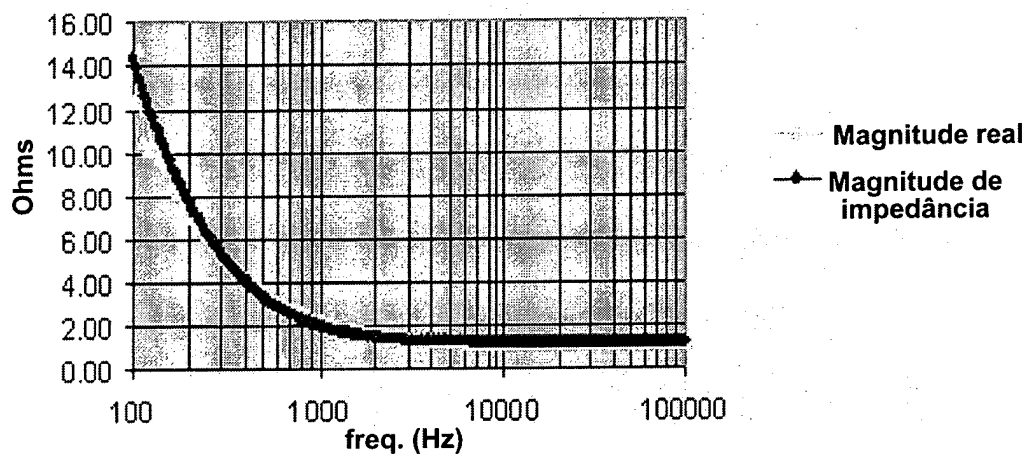


FIG.4A

Fase típica de impedância
Barras em solução 0,1 Ohm.m

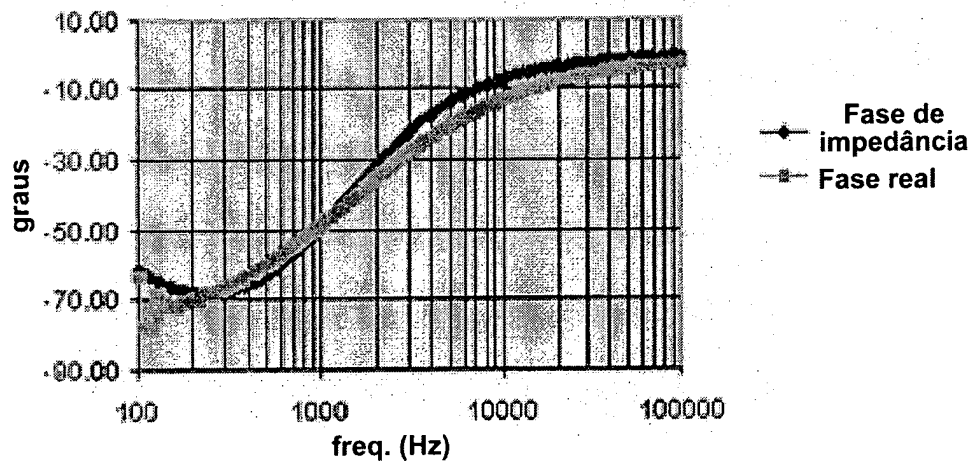


FIG.4B

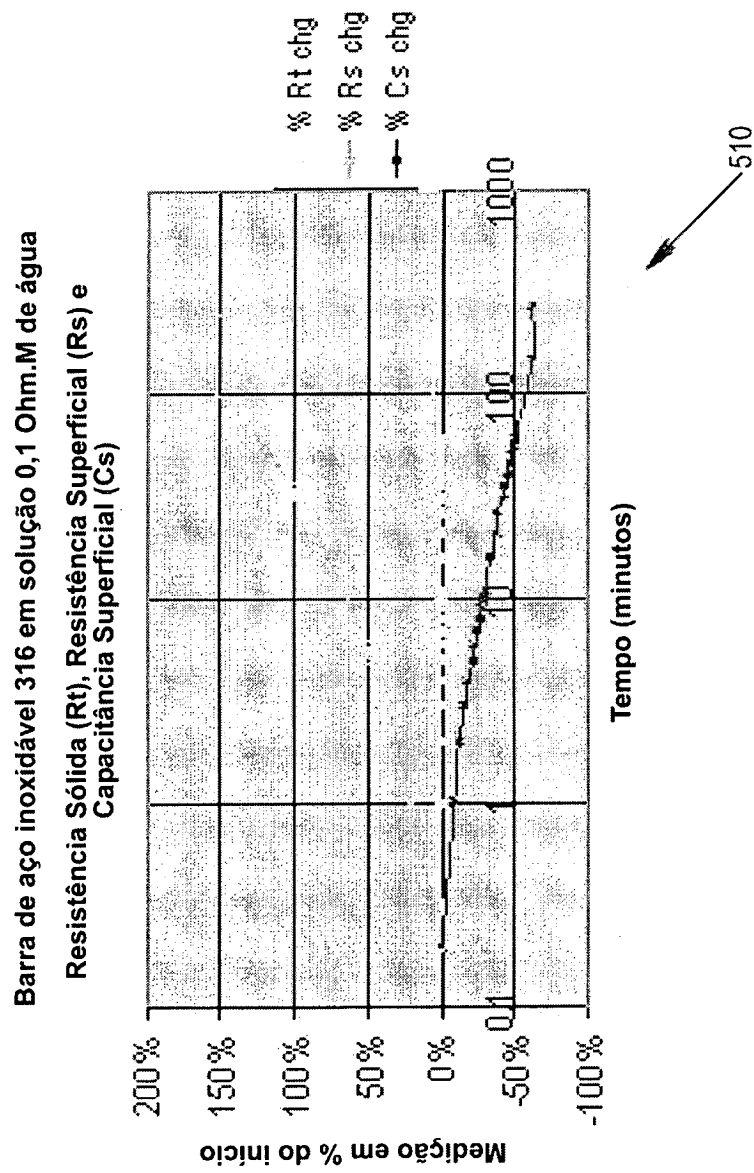
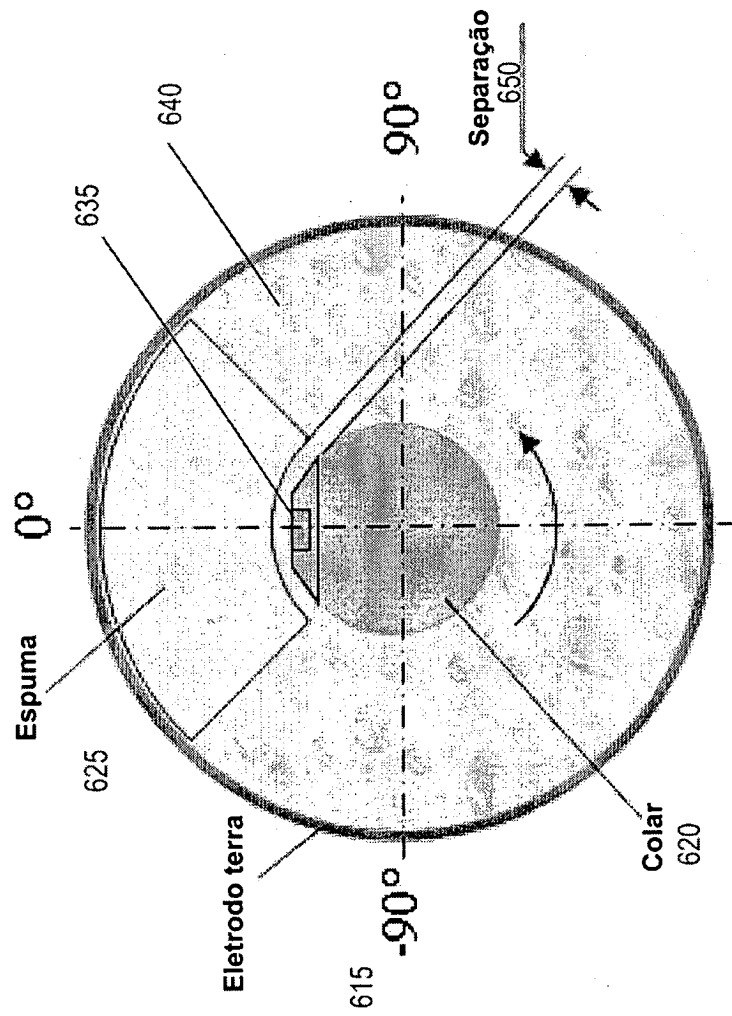


FIG.5

FIG.6



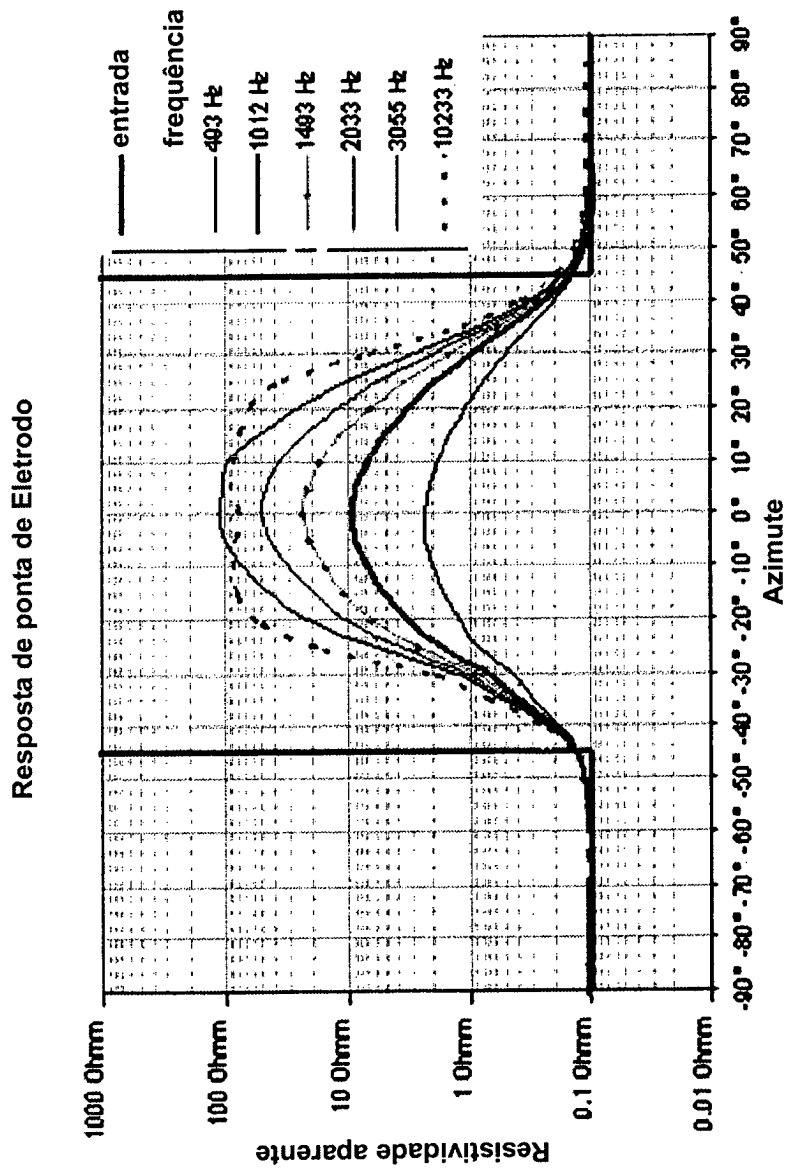


FIG.7

710

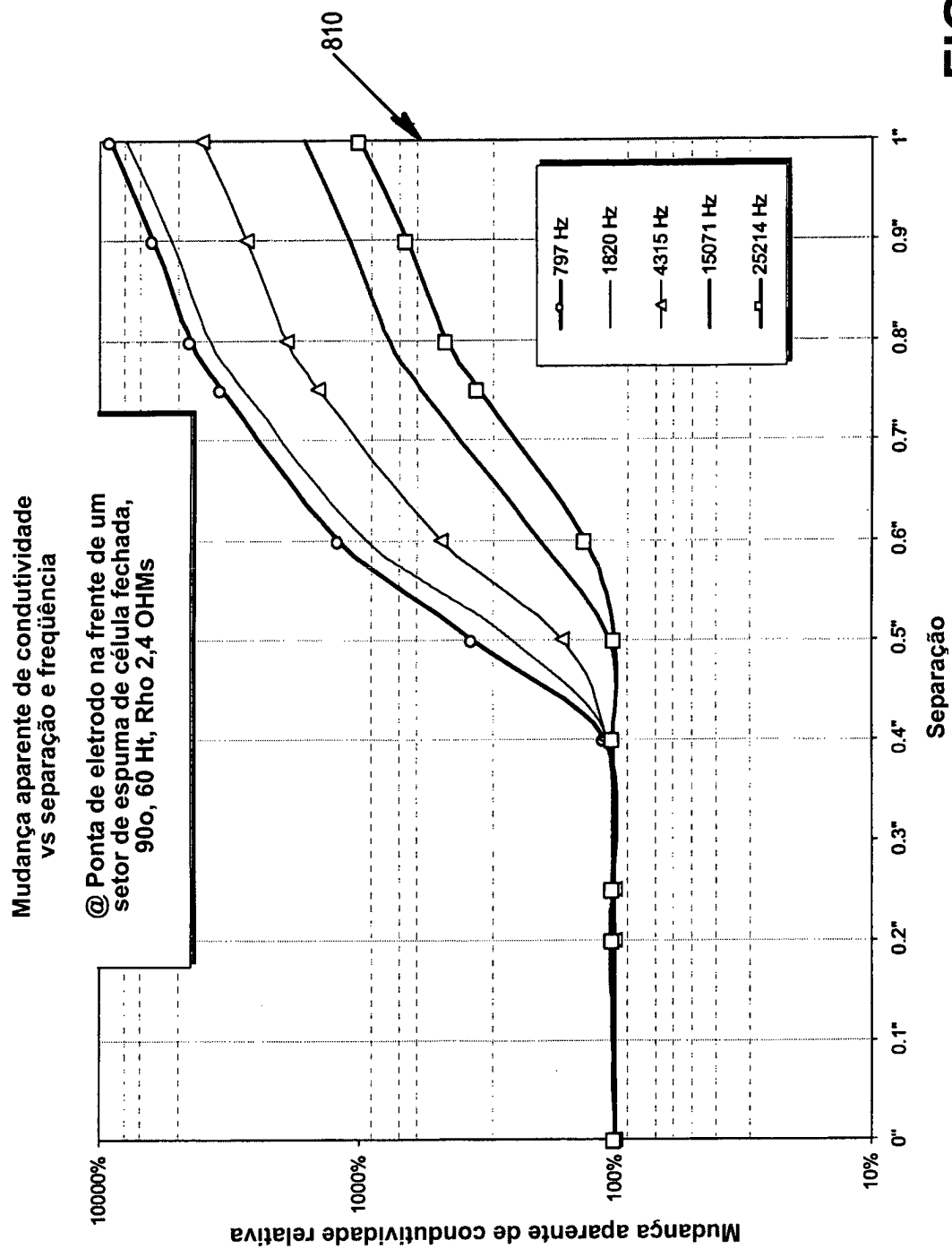


FIG. 8

9/9

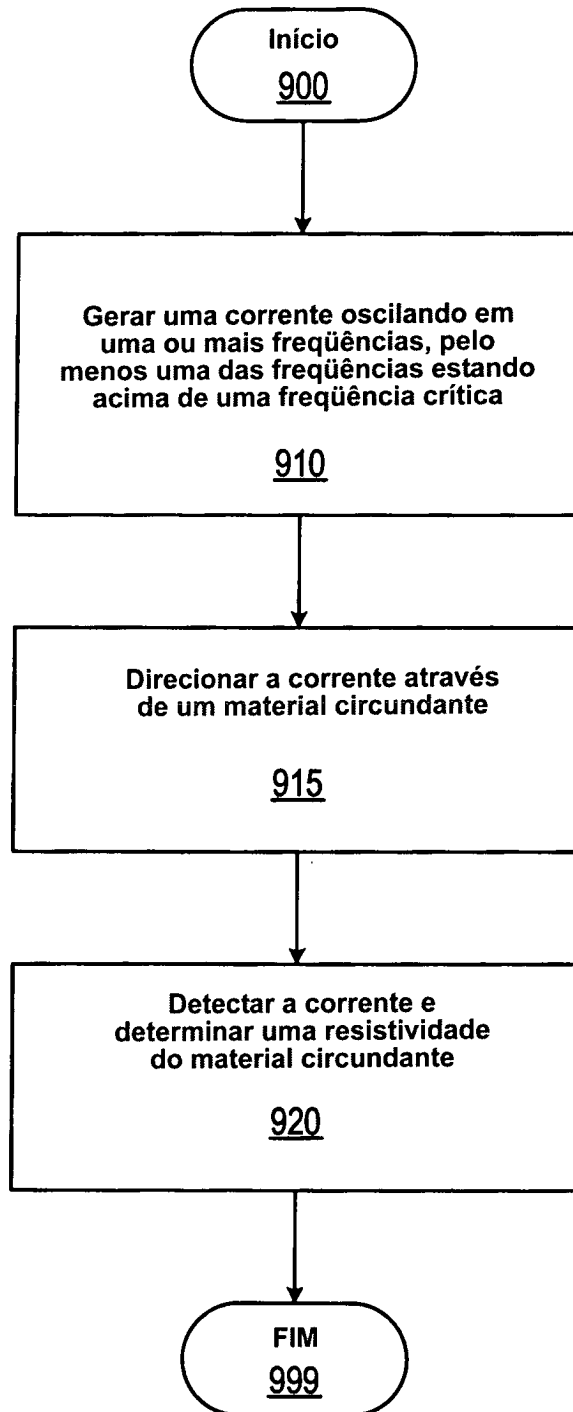


FIG.9

RESUMO

"MÉTODO DE DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE E APARELHO DE
DIAGRAFIA DE RESISTIVIDADE"

5 Provê-se na presente invenção um sistema e método para
determinar a resistividade de material. É gerada uma
corrente em uma ou mais frequências, qual corrente sendo
direcionada para o material circundante. A corrente é
detectada em uma ou mais frequências, e então
a resistividade do material circundante é determinada.