



## INFLUÊNCIA DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO NOS RESULTADOS DE PERFILAGENS GEOFÍSICAS EM POÇOS TUBULARES NA CIDADE DE MANAUS (AM)<sup>1</sup>

Fabiola Tavares Bento<sup>2</sup>, Jaime Luís Bezerra Araújo<sup>3</sup> e Rutenio Luiz Castro de Araujo<sup>4</sup>

*Submetido 26/10/2013 – Aceito 10/01/2014 – Publicado on-line 03/04/2014*

### Resumo

Foram realizados estudos comparativos dos traços dos perfis de radiometria com os de resistividade elétrica e os de potencial espontâneo, com o escopo principal de explicar o fato de que, em inúmeras perfilagens geofísicas há fatores operantes que mascaram os traços dos perfis resultantes. Nestas situações, a configuração de cada perfil de resistividade elétrica e de potencial espontâneo, as quais são utilizadas para a caracterização da subsuperfície, diferem dos resultados mostrados pelo perfil de raios gama. Amostras representativas dos fluidos (lamas) usados nas perfurações foram analisadas por difração de raios X, assim como amostras dos componentes individuais formadores destas lamas. Os resultados obtidos mostram a presença de Na, Al, Mg e Si na lama bentonítica, a presença de K, Na e C na lama mista e a presença da solução KCl na lama carboximetilcelulósica. Consideramos que a presença dos elementos químicos Na, K, Mg, Ca, Al, C e Si, cujos valores de resistividade elétrica variam de  $1 \times 10^{-3}$  a  $4,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ , nos fluidos de perfuração, influenciam, mensuravelmente, no comportamento dos traços dos perfis geofísicos de eletroresistividade e potencial espontâneo.

**Palavras Chave:** Difração de raios X; Fluidos de perfuração; Métodos geofísicos; poços tubulares.

### Abstract

This studies radiometric log like that electrical resistivity and spontaneous potential log, were realized with aim that explained why several problems occurs in this kind of geophysics survey. The normal process is that each configuration of the electric and spontaneous potential log, those the most used to subsurface characterization, is different when compared with gamma-ray log results. The samples representative of drilling mud were submit analysis by x-ray diffraction, as well as different components of the drilling mud. The analysis in drilling fluid show that occurs Na, Al, Mg, and Si in bentonite mud, while K, Na, and C are founded in mud-mix, and the KCl solution in carboximetilcelulosic mud. The chemical elements that occurring in drilling fluid, such as Na, K, Mg, Ca, Al, C and Si has electrical resistivity values that in order of the  $1 \times 10^{-3}$  until  $4,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ , were considered significant. This resistivity pattern has important influence in the behavior in all electric profiling in borehole log in Manaus city.

**Key-words:** X-ray diffraction; Drilling fluid; Geophysics survey; drilling-well log.

<sup>1</sup> Trabalho de pesquisa

<sup>2</sup> Professora do Curso de Tecnologia de Petróleo e Gás. Centro Universitário do Norte (UNINORTE). E-mail: [fabiola@fabiolabento.com.br](mailto:fabiola@fabiolabento.com.br)

<sup>3</sup> Jaime Luís Bezerra Araújo. Juiz do Trabalho – TRT 7ª Região. E-mail [jjaimeluis@yahoo.com.br](mailto:jjaimeluis@yahoo.com.br).

<sup>4</sup> Rutenio Luiz Castro de Araujo. Professor Titular da Universidade Federal do Amazonas. Departamento de Geociências. Campus Universitário da UFAM. Manaus (AM).E-mail: [rutenioa@bol.com.br](mailto:rutenioa@bol.com.br) – autor para correspondência

## 1. Introdução

As perfilagens geofísicas são comumente usadas para a caracterização da subsuperfície, de maneira indireta. Usualmente, nas perfilagens geofísicas realizadas em poços tubulares que têm como escopo a exploração de água subterrânea, utilizam-se, concomitantemente, os métodos de resistividade elétrica, de detecção de radiação gama e do potencial espontâneo das formações rochosas, a fim de realizar investigação indireta da subsuperfície (TELFORD et al., 1976; HEILAND, 1940; JAKOSKY, 1940). Tal investigação é feita em base na análise do comportamento dos perfis dos métodos acima citados, ou seja, considerando as correlações existentes entre os perfis de raios gama, eletroresistividade e potencial espontâneo. Assim sendo, dada às características e comportamentos destes perfis, teoricamente, se pode inferir a localização das camadas mais permeáveis no intervalo perfurado como, também, os tipos litológicos existentes, estruturas etc. Entretanto, às vezes, os resultados obtidos no campo diferem dos resultados esperados, em base nas teorias destes métodos geofísicos. Quando ocorrem tais situações são produzidos resultados imprecisos e informações errôneas sobre a litologia, zonas permeáveis, qualidade e quantidade de água produzida, presença de turbidez, eficiência hidráulica, estruturas etc. Este trabalho tem como escopo principal identificar influências as quais possam explicar o fato de que, em inúmeras perfilagens geofísicas obtidas com esses três métodos, há fatores operantes desconhecidos que mascaram os traços dos perfis resultantes. Assim sendo, a configuração do traço de cada perfil, que representa as características litológicas em subsuperfície, diferem dos resultados esperados, tendo como base a conceituação teórica. Visando, assim, contribuir para o aprimoramento da qualidade da informação oriunda desta técnica de avaliação indireta da subsuperfície, foi analisado diversos perfis de poços para água

subterrânea na cidade de Manaus (Figura 1) Os resultados alcançados demonstram a significativa influência dos fluidos de perfuração na configuração dos perfis analisados.

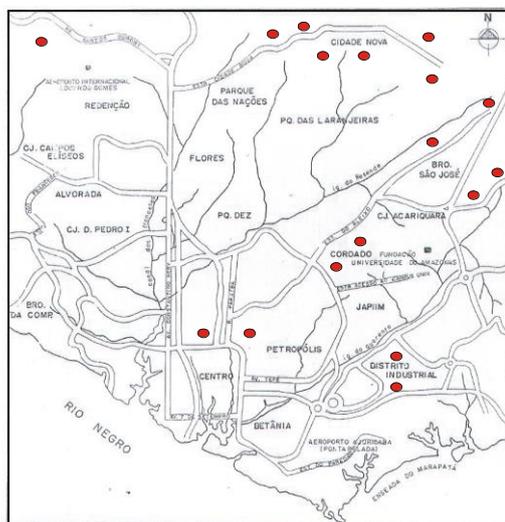


Figura 1 – mapa da cidade de Manaus, apresentando a localização dos poços estudados.

## 2- Geologia e Hidrogeologia da Área de Estudo

A cidade de Manaus está assentada sobre rochas sedimentares intemperizadas, de idade cretácea, da Formação Alter do Chão. Esta unidade sedimentar, unidade basal do Grupo Javari, representa a sedimentação flúvio-lacustre da Bacia Sedimentar do Amazonas (CAPUTO et al., 1972, CAPUTO, 1984 e CUNHA et al., 1994). Esta formação geológica, distribuída em uma vasta região na Bacia do Amazonas, é composta por arenitos avermelhados silicificados com granulação fina a média, intercalados com níveis argilosos e caulíníticos e arenitos inconsolidados. Essas rochas apresentam estruturas sedimentares, tais como estratificações tabulares, cruzadas e plano-paralelas e, como conteúdo fossilífero, fragmentos vegetais e indícios de manifestação biológica (estruturas biogênicas). De acordo com Caputo et al. (1972) e Cunha et al. (1994), a Formação Alter do Chão representa sedimentos que foram depositados em um ambiente flúvio-

lacustre, anterior ao sistema atual do Rio Amazonas, ou seja, quando este tinha seu curso voltado para o Oceano Pacífico. É nessa unidade sedimentar que se encontra o denominado “Aqüífero Alter do Chão”, onde é explotada água subterrânea que abastece a cidade de Manaus (AM). Manaus caracteriza-se pela grande exploração da água subterrânea para uso industrial e residencial. Segundo dados da CPRM (2002), mais de 1.100 poços encontram-se cadastrados de um total de mais de 7.000 perfurados na área urbana desta cidade. Isso revela o intenso uso do recurso hídrico de uma cidade que tem em suas margens dois importantes rios: o Negro e o Amazonas. O “Aqüífero Alter do Chão” possui cerca de 175 m de espessura saturados com água de boa qualidade, num pacote com espessura da ordem de 200 m. Dados sobre a condutividade e resistividade dos litotipos da Formação Alter do Chão não existem, carecendo de dados e informações acerca das propriedades geológicas das rochas sedimentares dessa unidade.

### 3- Procedimentos Metodológicos

Foram analisados 51 perfis geofísicos referentes a 17 poços tubulares, perfurados na cidade de Manaus (AM), com profundidades variando de 60 a 236 metros e diâmetros entre quatro e dez polegadas. Esses poços foram perfurados pela Empresa Construcen SÓPoços Ltda, a qual foi responsável pela execução das perfilações. Em todos estes poços foram realizadas as perfilações geofísicas de eletroresistividade, potencial espontâneo e radiação gama. Na perfuração dos poços estudados, foram utilizados três tipos diferentes de fluido: carboximetilcelulósico, bentonítico e misto. Estes fluidos são compostos pelos seguintes constituintes primários: bentonita, a qual é uma argila modificada quimicamente, específica para perfuração de poços; carboximetilcelulose, que é um polímero de carbono, altamente eficaz na perfuração, por apresentar maior facilidade de manuseio,

maior rentabilidade e facilidade do controle reológico; *drillvis*, que é um inibidor de argilas; e, por fim, soda cáustica, utilizada no controle do pH de algumas misturas.

No presente trabalho foram elaborados e analisados fluidos semelhantes aos usados na perfuração destes poços estudados. A Tabela 1 mostra a identificação desses poços e o tipo de fluido utilizado durante a perfuração dos mesmos, cuja distribuição geográfica dos 17 poços na cidade de Manaus (AM) é mostrada na Figura 1.

Tabela 1 – Produtos utilizados na elaboração do fluido utilizado durante o processo de perfuração dos poços estudados. NaOH = Soda Cáustica. CMC = Carboximetilcelulose (CMC),

Item	Poços tubulares	Produtos utilizados	Tipo de fluido
01	Beija – Flor II	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
02	Texaco	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
03	Eucatur	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
04	Getúlio Viana	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
05	Zumbi II	CMC, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
06	Bola do Coroadado	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
07	Petrópolis	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
08	Boas Novas	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
09	Nova Floresta	CMC, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
10	Mutirão	CMC, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
11	Ribeiro Junior	Bentonita, Água	Bentonítico
12	Núcleo 13	Bentonita, Água	Bentonítico
13	Coroadado III	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
14	Grande Vitória	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
15	Ministério do Exército	CM, Bentonita, Drillvis, Água	Misto
16	Moto Honda	CMC, Drillvis, NaOH, Água	CMC
17	Santa Etelvina	Bentonita, Água	Bentonítico

As perfilagens geofísicas para cada poço estudado foram comparadas a cada 10 metros de profundidade. Como procedimento metodológico foi assumido, como padrão, o perfil de raios gama considerando, desse modo, que as discrepâncias registradas nos perfis analisados, em relação aos perfis de resistividade elétrica e de potencial espontâneo, são discrepâncias observadas tendo, como referencial, o traço do perfil de raios gama. A escolha do perfil de raios gama como padrão é baseada no fato de que o processo de decaimento radioativo constitui-se uma característica intrínseca e exclusiva do núcleo atômico; conseqüentemente, tal processo não é influenciado por quaisquer fatores externos, tais como mudanças nas condições de temperatura, umidade, pressão, reações químicas endotérmicas ou exotérmicas etc. No entanto, os perfis de resistividade e de potencial espontâneo, por serem diretamente gerenciados por variações na estrutura eletrônica dos elementos químicos formadores do material perfilado, são mensuravelmente influenciados por tais fatores externos.

Todos os intervalos selecionados no presente estudo comparativo dos perfis são superiores a 20 metros de profundidade, devido que nos poços estudados há tubulões de ferro galvanizado instalados externamente ao furo guia, até a profundidade de 18 metros, os quais podem, devido a sua composição química, interferir na interpretação dos traços dos perfis geofísicos.

Nos intervalos selecionados (de dez em dez metros) foram quantificadas as discordâncias apresentadas entre os traços dos perfis de resistividade elétrica e do potencial espontâneo, ou seja, foram registradas, para cada perfil de resistividade e de potencial espontâneo, quantas vezes, ao longo do poço perfilado, o comportamento de cada um destes perfis não correspondeu ao esperado pela fundamentação teórica, tendo, sempre, conforme foi ratificado, como referencial, o comportamento do traço do perfil de raios gama. As Figuras (2) e (3) são dois dos perfis geofísicos estudados.

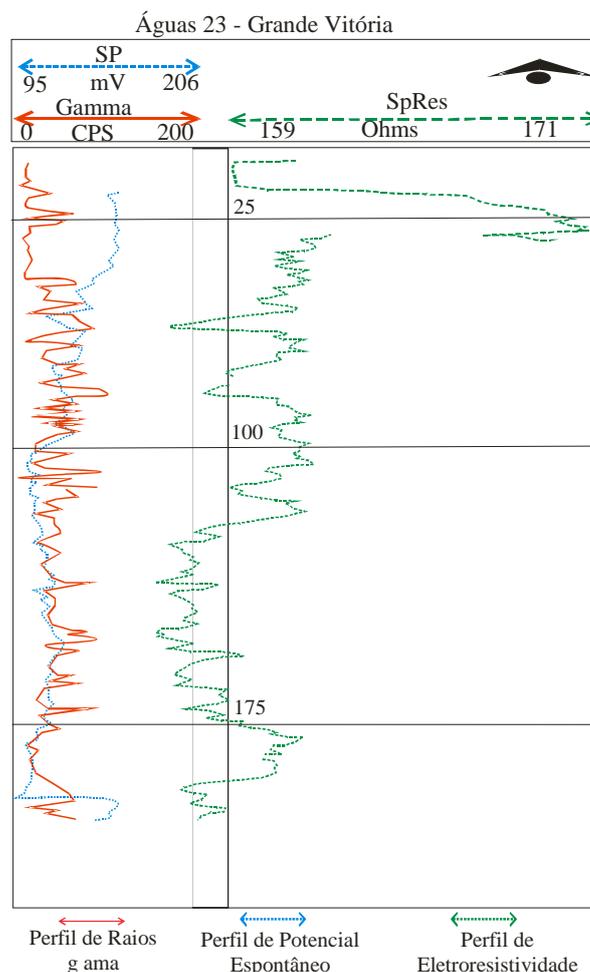


Figura 2 – Perfil geofísico – Águas 23 – Bairro Grande Vitória.

Foram obtidas amostras dos quatro principais componentes constituintes dos fluidos utilizados na atividade de perfuração, ou sejam: bentonita em pó, caboximetilcelulose em pó, soda cáustica em pó e *drillvis* em pó. Primeiramente, foram confeccionadas lâminas individuais destes materiais, as quais foram submetidas ao difratômetro de raios X, com exceção da soda cáustica, que não pôde ser analisada por ser extremamente corrosiva e, conseqüentemente, danificar o equipamento de raios X. Na segunda etapa utilizaram-se os componentes acima mencionados para elaboração de três amostras de fluidos estéreis (sem a presença de componentes mineralógicos inerentes ao local do furo estudado), ou seja: fluido bentonítico, fluido carboximetilcelulósico e fluido misto. Em seguida, essas amostras de

lama também foram submetidas à análise por meio da difração de raios X. A partir dos resultados obtidos nos difratogramas foram analisadas as características e efeitos dos elementos químicos detectados.

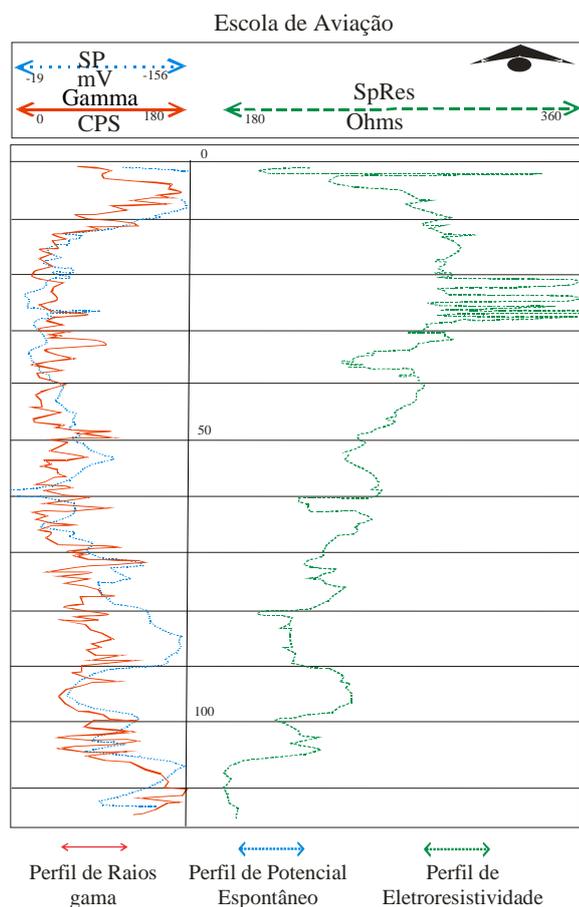


Figura 3 – Perfil geofísico – Esq. De Aviação – Bairro Colônia Oliveira Machado.

#### 4-Resultados e Discussão

Conforme anteriormente descrito, na primeira fase, a difratometria de raios X foi realizada em amostras, a seco, de cada componente constituinte das lamas utilizadas e, na segunda fase, para cada tipo de fluido utilizado nas perfurações dos poços tubulares. Os resultados obtidos das amostras contendo, apenas, os componentes individuais, indicaram as seguintes composições mineralógicas:

1 – Bentonita – constituída de montmorillonitas  
 $(\text{NaO}_3(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}_2)4\text{H}_2\text{O})$  e

$\text{NaMgAlSiO}_2 (\text{OH}) \text{H}_2\text{O}$ , caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$ ) e quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). A Figura(4) mostra os resultados da difratometria de raios X da bentonita.

2 - Carboximetilcelulose de sódio (CMC) - composta de minerais de muito baixa cristalinidade. Como ocorreu somente a presença de uma reflexão, não foi possível identificar o composto mineralógico. A Figura(5) mostra os resultados da difratometria de raios X do carboximetilcelulose.

3 - *Drillvis* –mineralogia composta de silvita (KCl). Os resultados são apresentados na Figura(6).

4 - Soda Cáustica – não foi analisada por apresentar alto teor de corrosão, portanto, podendo danificar as lâminas de alumínio do equipamento de difração. Contudo, sua composição química é de NaOH,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , NaCl e Fe, conforme o laudo de análise fornecido pela Fundação Duarte Amaral e Cia LTDA.

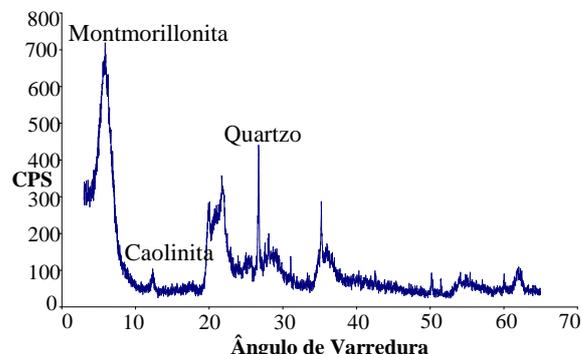


Figura 4 - Difratometria de raios X da Bentonita a seco.

Na segunda etapa de medidas foi realizada difratometria de raios X nas amostras das lamas compostas utilizadas nas atividades de perfuração dos poços estudados. Os resultados mostram as seguintes composições mineralógicas:

1 – Fluido bentonítico (bentonita+água) - composição mineralógica constituída de montmorillonitas  
 $(\text{NaO}_3(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}_2)4\text{H}_2\text{O})$  e  
 $\text{NaMgAlSiO}_2 (\text{OH}) \text{H}_2\text{O}$ , caolinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5 (\text{OH})_4$ ). Os resultados da difratometria de raios X são mostrados na Figura(7). A

inclusão de água e o processo físico, o qual se constituiu em centrifugar por aproximadamente 60 minutos a amostra água e bentonita, até atingir a viscosidade mínima de 42 *mash*, padrão mínimo na formação do reboco na parede do poço, não promoveu mudanças nas características mineralógicas da bentonita. A análise comparativa dos resultados das Figuras (7) e (4) mostra que a hidratação não promoveu a formação de novos compostos minerais.

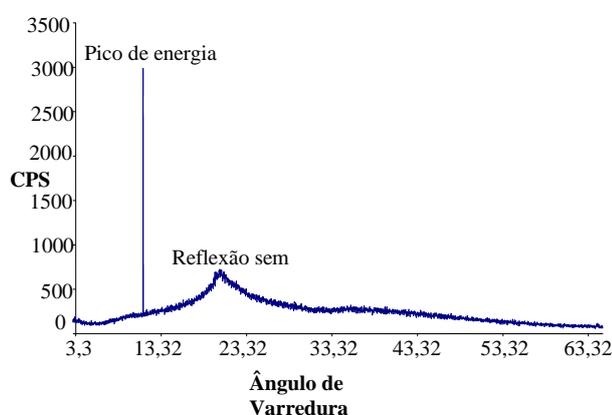


Figura 5 - Difratomia de raios X do CMC a seco.

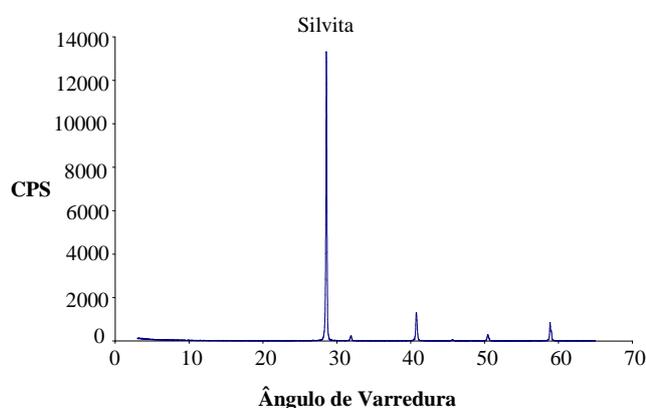


Figura 6 - Difratomia de raios X do Drillvis a seco.

2 - Fluido misto (CMC+ bentonita+*drillvis*+água) – O fluido misto é frequentemente utilizado em furos que apresentam composição litológica formada por sedimentos friáveis, tais como areias de granulometria fina a média. A inclusão de água e o processo físico de centrifugação produziram uma composição mineralógica formada de caolinita  $Al_2(Si_2O_5) OH_4$  e de alumossilicato hidratado de potássio (K,  $H_3O$ )

$Al_2Si_3AlO_{10} (OH)_2$ , conforme é mostrado na Figura(8).

3 - Fluido caboximetilcelulósico (CMC+*drillvis*+soda cáustica+água) – O fluido carboximetilcelulósico é considerado o mais adequado para a perfuração de poços tubulares, pois permite a redução das perdas de fluido por filtrações em formações permeáveis, aumenta a estabilidade do poço, além de melhorar a qualidade das amostragens de calha. Isto porque a mistura dos produtos CMC, água, *drillvis* e soda cáustica, produz um fluido com características importantes no processo de perfuração, além de ter seus parâmetros físicos, tais como viscosidade, filtrado e reboco, mais facilmente controlados. Tais características dificultam a penetração deste fluido nas formações geológicas permeáveis, como, também, preenche o espaço vazio em diáclases da litologia perfurada. Conseqüentemente, com a percolação deste fluido tem-se uma adequada refrigeração da broca de perfuração, sem perda substancial de volume injetado. Outra vantagem é a rentabilidade do CMC, para cada 8,0 kg deste produto tem-se produzido aproximadamente  $1m^3$  de fluido de perfuração; o equivalente para a bentonita é aproximadamente 40 sacos de 50,0 kg. Adicionalmente, em face às características mencionadas deste fluido, é comprovado que o mesmo penetra parcialmente nas camadas da formação permeável, portanto, este tipo de fluido promove um estado de cimentação leve, o qual amplia significativamente a estabilidade das paredes do poço, sem prejudicar o fluxo de água subterrânea para o interior do poço revestido. Esta condição de melhoria na estabilidade do poço permite que as atividades inerentes à perfuração sejam realizadas com maior desenvoltura e num menor intervalo de tempo, facilitando, ainda, as operações relativas às perfilagens geofísicas. Vale ressaltar que a estabilidade do poço é de extrema importância na ocasião da realização da perfilagem geofísica, não apenas para a obtenção de resultados precisos e confiáveis, como, também, para se ter

certeza do retorno físico das sondas utilizadas. A inclusão de água e o processo de centrifugação foram realizados na amostra até a obtenção de um gel com viscosidade variando entre 38 a 42 *mash*. A Figura(9) mostra os resultados da difratometria de raios X para esta lama, a qual apresentou a presença de cloreto de potássio (KCl). Os demais componentes têm baixíssima cristalinidade, não sendo possível a sua identificação.

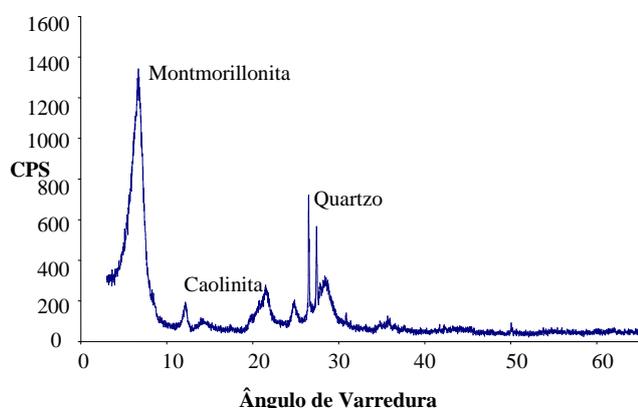


Figura 7 - Difratometria de raios X do fluido bentonítico.

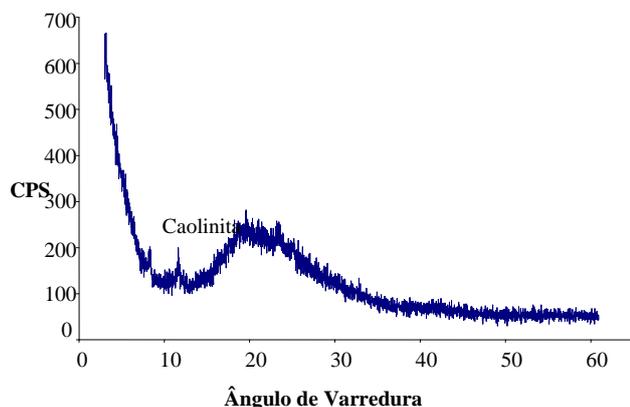


Figura 8 - Difratometria de raios X do fluido misto.

Os resultados das análises dos diferentes tipos de componentes e fluidos utilizados no processo de perfuração dos poços tubulares estudados, via método de difratometria de raios X, mostram a presença de diversos elementos químicos, tais como H, Na, K, Mg, Ca, Al, C, Si, O e Cl.

O hidrogênio (H), contido na água inserida, é um gás incolor, inodoro e insípido,

pouco solúvel em água e mais leve que o ar, inflamável e apesar de ser um dos elementos mais abundantes do universo não é encontrado em seu estado puro no ambiente terrestre. Sua condutividade e resistividade elétrica são desconhecidas. Apresenta três tipos de isótopos:  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$  e  $^3\text{H}$ , destes o deutério  $^2\text{H}$  é empregado em reatores nucleares como moderador de nêutrons e o trítio  $^3\text{H}$  é usado na fabricação de bombas de fissão.

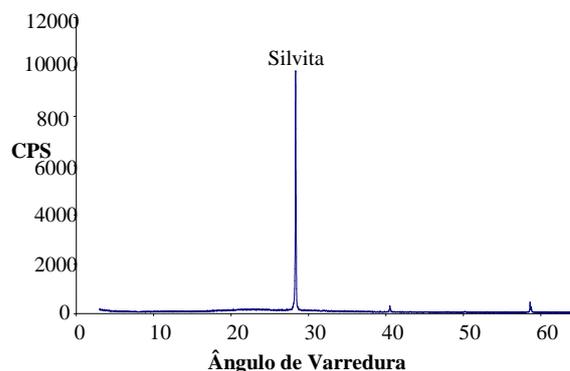


Figura 9 - Difratometria de raios X do fluido CMC.

O Na e o K são elementos abundantes no ambiente terrestre (2,6 e 2,4%, respectivamente). Apresentam natureza essencialmente iônica, entretanto, podem ocorrer alguns casos de ligação covalente, como por exemplo, as moléculas diatômicas do  $\text{Na}_2$ . São fortemente eletropositivos. Entre os compostos binários, os sais dos metais alcalinos são caracterizados, em geral, por pontos de fusão elevados, pela alta condutividade elétrica dos líquidos de fusão e pela fácil solubilidade em água. O Na não apresenta isótopos naturais e tem resistividade elétrica média de  $4,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ . O K contém três tipos de isótopos:  $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$  e o  $^{41}\text{K}$ , sendo que destes somente o  $^{40}\text{K}$  apresenta decaimento radioativo natural. Sua resistividade elétrica é da ordem de  $7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ .

Mg e Ca são elementos pertencentes à família 2A, são mais densos, possuem potenciais de ionização maiores, apresentam pontos de fusão e de ebulição mais elevados e são mais duros que os elementos da família dos metais alcalinos. Ambos formam quase



sempre compostos iônicos. O Mg possui 8 isótopos, destes apenas 5 apresentam decaimento radioativo natural:  $^{22}\text{Mg}$ ,  $^{23}\text{Mg}$ ,  $^{27}\text{Mg}$ ,  $^{28}\text{Mg}$  e  $^{29}\text{Mg}$ . Sua resistividade elétrica é da ordem de  $4,4 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ . O Ca possui 13 isótopos, destes somente 7 apresentam decaimento radioativo natural:  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{47}\text{Ca}$ ,  $^{49}\text{Ca}$ ,  $^{50}\text{Ca}$ ,  $^{51}\text{Ca}$  e  $^{52}\text{Ca}$  e valores de resistividade elétrica da ordem de  $3,4 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ .

O Al é o elemento metálico mais comum da crosta terrestre, altamente eletropositivo, tem suas características modificadas facilmente por solução aquosa a quente de NaOH, por halogênios e por diversos elementos não metálicos. Apresenta baixo ponto de fusão, é leve, excelente condutor de calor e eletricidade, além de ser resistente à corrosão. Possui 7 isótopos, dos quais 6 são produzidos artificialmente. Sua resistividade elétrica é da ordem de  $2,65 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ .

O C e o Si estão contidos na família 4B. Os elementos deste grupo são fundamentalmente metálicos e tendem a unirem-se em ligações covalentes. O C apresenta alguns cátions, íons e radicais considerados transientes em reações orgânicas. A característica principal do C é a tendência a ligar-se a outros átomos de C, formando cadeias e anéis e não apenas com laços simples, mas, também, duplos (catenação). As espécies de carbono divalente são altamente reativas, podendo ligar-se a muitos metais de transição. Foram detectados 9 isótopos de C, destes, apenas 2 são encontrados na natureza:  $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ . Sua resistividade elétrica é aproximadamente  $1 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$ .

O Si só perde para o oxigênio em abundância natural. Pouco reativo, facilmente tem suas características modificadas pelos halogênios, tetralogenetos e álcalis, gerando soluções de silicatos. Apresenta tendência à catenação, porém, com menor intensidade que o C. Para o Si foram detectados 9 isótopos, contudo, somente 3 são encontrados na natureza:  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{29}\text{Si}$  e  $^{30}\text{Si}$ . É um elemento com

elevada resistividade elétrica, com valores de até  $1 \times 10^{-3} \Omega\text{m}$ .

O oxigênio (O) é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre. Ocorre na forma livre (atmosfera) e combinado (água e muitos outros minerais). Este elemento é pouco solúvel em água. À temperatura ambiente é inativo, porém, em temperaturas elevadas, especialmente sem impurezas, reage com a maioria dos outros elementos formando óxidos. Seus isótopos mais comuns são o  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  e  $^{18}\text{O}$ , todos estáveis. Não apresenta resistividade elétrica conhecida.

O Cl é um elemento pertencente à família dos halogênios que combina com quase todos os metais e H livre, com exceção dos C, O e Ni. O Cl tem a capacidade de reduzir íons de elementos metálicos, promovendo a transferência desses íons para os átomos de Cl. Apresenta 09 isótopos, sendo somente 02 encontrados na natureza:  $^{35}\text{Cl}$  e  $^{37}\text{Cl}$ . Não apresenta resistividade elétrica conhecida.

Conforme anteriormente mencionado, foram efetuados estudos comparativos dos traços dos perfis geofísicos de resistividade, potencial espontâneo e raios gama, com o escopo principal de pesquisar as causas que justifiquem o fato de que, em praticamente todas as perfilagens geofísicas que utilizam estes três métodos, há fatores desconhecidos operantes que mascaram o traço do perfil geofísico, de maneira tal que a configuração deste traço, representando as características litológicas atravessadas, diferem dos resultados esperados, tendo como base a conceituação teórica. Em face deste comportamento é que, freqüentemente, utiliza-se, concomitantemente, os três métodos acima descritos, a fim de que o resultado de uma das técnicas seja ratificado ou retificado pelos traços das outras duas técnicas.

Embora haja diversidade de camadas na região estudada, no entanto, a Formação Alter do Chão apresenta basicamente camadas sedimentares fluviais que variam de espessura contendo, fundamentalmente, areia e argila. Em face desta característica litológica, nas

perfilagens geofísicas de resistividade elétrica, potencial espontâneo e de raios gama realizadas em poços tubulares, utilizadas para fins dessa descrição litológica, é comum se inferir, *a priori*, o espectro de variação dos valores para cada perfil geofísico e, conseqüentemente, estabelecer, no início das perfilagens, qual a melhor escala de valores a ser usada. A Tabela (2) mostra valores de resistividade aparente destes materiais aqui mencionados. Observa-se nesta Tabela a predominante superioridade dos valores de resistividade elétrica do material arenoso, em comparação ao material argiloso. Por conseguinte, o inverso ocorre quando o parâmetro geofísico estudado refere-se ao potencial espontâneo. Portanto, a inclusão, no local perfilado, de qualquer elemento químico com valor extremamente elevado, ou extremamente baixo, de resistividade elétrica, provocará influência nos traços resultantes destes dois métodos geofísicos.

Os elementos químicos acima citados têm valores extremamente baixos de resistividade elétrica, portanto, a inserção de qualquer um destes elementos provocará mudanças significativas no comportamento resistivo/condutoivo do material litológico pertinente. Caso ocorra a inclusão de mais de um destes elementos químicos no material a ser perfilado, as mudanças resultantes serão ainda mais significativas, principalmente, se os elementos envolvidos forem o Na, K, Mg, Ca e Al, cujos valores de resistividade elétrica são da ordem de  $10^{-8} \Omega.m$ . Obviamente que as mudanças provocadas na resistividade elétrica do material serão acompanhadas, também, por mudanças na condutividade elétrica. Como conseqüência, haverá influências significativas nos traços dos perfis de resistividade elétrica e de potencial espontâneo. No entanto, deve ser diferente a magnitude de cada influência, em face das características de cada método. A Figura(10) mostra a quantificação das discordâncias observadas, ou seja, nos perfis geofísicos estudados registrou-se 27,1 % de discordâncias no traço do perfil de resistividade elétrica, enquanto se registrou

33,4 % de discordância no traço de potencial espontâneo, em relação ao traço do perfil de raios gama.

Tabela 2 - Comparativo entre a resistividade elétrica e o potencial espontâneo para diferentes tipos de rochas Fonte: JAKOSKI, 1940).

Rochas	Resistividade	Potencial Espontâneo
Folhelho e argila	Baixa	Baixo
Areias e água salgada	Baixa	Muito negativo
Areias e água doce	Alta	Médio tendendo a baixo
Areias e óleo	Alta	Muito negativo
Carbonatos não porosos	Alta	Baixo
Carbonatos porosos, óleo	Muito alta	Muito negativo
Carbonatos porosos	Baixa	Extremamente negativo
Anidritos	Muito alta	Baixo
Rochas salinas	Muito Alta	Medianamente baixo.

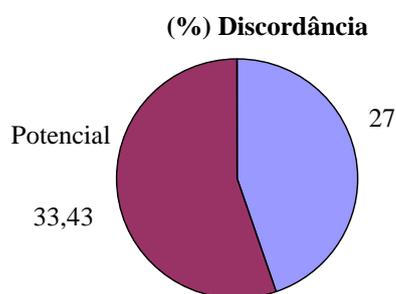


Figura 10 – Quantitativo das discordâncias observadas nos perfis geofísicos estudados.

## 5- Conclusões

Foram comparados entre si os resultados de 51 perfis geofísicos de resistividade elétrica, potencial espontâneo e radiação gama referentes a 17 poços tubulares perfurados na cidade de Manaus (AM), tendo como referencial o perfil de raios gama. No estudo comparativo em pauta foram registrados 190 intervalos discrepantes, ou seja, o comportamento dos parâmetros geofísicos estudados não condizia com o esperado pela teoria. Destes, o parâmetro de potencial espontâneo apresentou 33,4 % de discordância, enquanto que o de resistividade apresentou 27,1 % de discordância.



A difratometria de raios X nas amostras dos fluidos utilizados no processo de perfuração dos poços tubulares mostra que o fluido bentonítico é composto de Na, Al, Mg, e Si. Todos estes elementos, com exceção do silício, apresentam resistividade elétrica variando de  $2,6 \times 10^{-8} \Omega.m$  a  $7,0 \times 10^{-8} \Omega.m$ . No fluido carboximetilcelulósico registrou-se a presença de KCl, que é uma solução com excelente condutividade elétrica. O fluido misto é composto de Al, Si, K, H, Na e C. Para este grupo pode-se ressaltar que a presença dos elementos K e C estejam influenciando este resultado por apresentar valores de resistência elétrica de  $7 \times 10^{-8} \Omega.m$  e  $1 \times 10^{-5} \Omega.m$ , respectivamente.

Consideramos que as discrepâncias registradas no estudo comparativo dos perfis geofísicos de resistividade elétrica e de potencial espontâneo, tendo-se como referencial o traço do perfil de raios gama, deve-se, fundamentalmente, à presença de elementos químicos, tais como Na, K, Mg, Ca, Al, C e Si, os quais são inseridos no poço via fluido utilizado no processo de perfuração dos poços tubulares. Portanto, a inserção destes fluidos na atividade de perfuração de poços tubulares influencia os resultados das perfisagens geofísicas de resistividade elétrica e de potencial espontâneo.

## 6- Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos à Universidade Federal do Amazonas, e à Universidade do Estado do Amazonas pela infra-estrutura fornecida e à empresa Construcenter Só Poços LTDA, pelo acesso aos perfis geofísicos estudados.

## Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

## Referências

- COSTA, J. B. A Neotectônica na Amazônia. Anais do V Simpósio de Geologia da Amazônia, Sociedade Brasileira de Geologia -Núcleo Norte, Belém (PA), p.35-38. 1996.
- COSTA, J. B. S. & HASUI, Y. O Quadro Geral da Evolução Tectônica da Amazônia. Anais do III Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. UNESP/SBG, Rio Claro (SP), p.142-143. 1991.
- CUNHA, P.R.C.; GONZAGA, F.G.; COUTINHO, L.D.F. e FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências, PETROBRAS, Rio de Janeiro (RJ), 8(1):47-55. 1994.
- DAEMON, R. F. & CONTREIRAS, C. J. A. Zoneamento Palinológico da Bacia do Amazonas. Anais do 25<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia, Sociedade Brasileira de Geologia. SãoPaulo, p. 79-88. 1971.
- FERNANDES FILHO, L.A.; COSTA, M.L; COSTA, J.B.S. Registros Neotectônicos nos Lateritos de Manaus – Amazonas: Revista Brasileira de Geociências, v16, n<sup>o</sup>. 1. p. 9-33. 1997.
- HEILAND, C.A. Geophysical Exploration. New York. Prentice-Hall. 1013p. 1940.
- HORBE, A. M. C. e COSTA, M.L. Crostas Lateríticas Geradoras de Solos na Amazônia. Anais do V Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém-PA. p. 262-264. 1996.
- JAKOSKY, J.J. Exploration Geophysics. Times-Mirror Press. Los Angeles. 786p. 1940.
- LOURENÇO, R.S.; MONTALVÃO, R.M.G.; PINHEIRO, S.S.; FERNANDES, P.E.C.A.; PEREIRA, E.R.; FERNANDES, C.A.C. e TEIXEIRA, W. Geologia. Projeto Radam Brasil. Folha SA.20 Manaus; Geologia, Geomorfologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra. Rio de Janeiro. p. 18-164. 1978.
- SCHOBBERHAUS & CAMPOS, D.A. A evolução da Plataforma Sul-Americana no Brasil e suas Principais Concentrações Minerais. In: SCHOBBERHAUS, C. D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E., Coord. Geologia do Brasil. Brasília, DNPM. p. 9-53. 1984.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. Applied Geophysics. Cambridge University Press. Cambridge. 860p. 1976.