

FORMAÇÕES REATIVAS: CARACTERIZAÇÃO X CAPACIDADE DE EXPANSÃO

LUCENA, D.V (1)*; LIRA; H.L.(2); AMORIM, L.V. (2)

(1) UFCG/IFPB; (2) UFCG

* Basílio Araújo, 886, Catolé, Campina Grande-PB, 58410-200. E-mail:
daniellymateriais@yahoo.com.br

RESUMO

Durante a perfuração de poços de petróleo é comum à detecção de camadas constituídas por minerais argilosos de alto grau de hidratação, organizados em pacotes laminares. Quando em contato com a água, os pacotes de argilas se separam à medida que a água penetra no espaço basal. Formações argilosas como os folhelhos contendo esmectita são sensíveis à presença de água e quanto maior a quantidade de esmectita, maior a reatividade na presença de água. Este fenômeno é conhecido por expansão ou inchamento. Diante disto, este trabalho tem como objetivo caracterizar folhelhos de duas regiões do país para explicar a susceptibilidade de hidratação de cada uma dessas formações. Essa caracterização foi feita fazendo uso da CTC, FRX, ATD, ATG e DRX. Os resultados alcançados evidenciaram que dentre os folhelhos estudados, aquele com maior grau de frações argilosas (esmectita) em sua composição apresentou maior grau de inchamento segundo a metodologia de Foster.

Palavras-chave: *folhelhos, inchamento, caraterização.*

INTRODUÇÃO

O problema da estabilidade do poço em formações expansíveis tem frustrado engenheiros de campos de petróleo desde o início da perfuração de poços de petróleo e de gás. A instabilidade é o fator que ocasiona o mais significativo problema técnico na operação de perfuração e se trata também de uma das maiores fontes de perda de tempo e problemas de custo (VAN OORT *et al.*, 1996).

Formações argilosas contendo esmectita são sensíveis à presença de água. Muitas destas formações contêm vários tipos e quantidades diferentes de argilas. Quanto maior a quantidade de esmectita, maior a reatividade na presença de água,

devido às ligações inter cristalinas relativamente fracas, que permitem a entrada de água ou de outras substâncias polares, o que resulta no acréscimo da distância interplanar ou basal. Esse fenômeno é conhecido por expansão ou inchamento (AMORIM, 2006).

As conseqüências resultantes dos problemas enfrentados durante a perfuração dos poços de petróleo estão associadas à instabilidade causada pela interação entre as formações argilosas e o fluido utilizado para atravessá-las evariam desde o desmoronamento das paredes e alargamento do poço até seu completo fechamento (LOMBA *et. al*, 2000). Dessa forma, a estabilidade de poços de petróleo vem sendo estudada considerando os aspectos mecânicos e químicos da rocha, principalmente, com relação às interações fluido-folhelho (CORRÊA, *et. al*, 2004).

A instabilidade de poços pode causar sérios problemas durante as operações de perfuração e completação, levando a incidentes que aumentam o tempo e os custos de perfuração. Estes problemas tendem a ser mais severos em formações de folhelhos, que são mais suscetíveis devido a mecanismos adicionais de instabilidade que surgem quando os mesmos interagem com os fluidos de perfuração (RABE E FONTOURA, 2003).

O inchamento de folhelho, quando em contato com fluido aquoso, tem sido considerado o principal problema no aprisionamento de ferramentas, devido à adsorção de moléculas de água ou íons hidratados solubilizados no meio. Em geral, o teor de argilas hidratáveis no folhelho é superior a 50%. Como esses argilominerais possuem diferentes capacidades de hidratação, a capacidade de certo folhelho adsorver água é função do tipo e quantidade dos argilominerais que o constitui.

A estabilidade dos folhelhos ricos em argila é profundamente afetada por suas complexas interações físicas e químicas com fluidos de perfuração (VAN OORT, 2003). Deste modo, essas rochas com alto teor de argila têm mostrado significativas alterações, tais como expansão ou inchamento, quando colocadas em contato com fluidos aquosos devido à adsorção de moléculas polares de água ou de íons hidratados solubilizados no meio. Essas alterações podem provocar o colapso da rocha durante a perfuração com fluidos à base de água (MACHADO, 2002).

Para um maior entendimento dos fenômenos de interação entre a rocha e o fluido de perfuração é necessário, primeiramente, que se tenha uma descrição completa destas formações ativas, tanto do ponto de vista de seus constituintes

individuais quanto da sua microestrutura (RABE E FONTOURA, 2003). Portanto, a caracterização completa de formações reativas é indispensável para um melhor entendimento do fenômeno de hidratação que ocorre nesse tipo de formação.

A partir do exposto, este trabalho tem como objetivo caracterizar folhelhos de duas regiões do país para explicar a susceptibilidade de hidratação de cada uma dessas formações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Foi estudada uma amostra de argila bentonítica conhecida comercialmente por Brasgel PA e duas amostras de folhelhos de alta reatividade de duas regiões do país: Bacia do Araripe-PE e Recôncavo baiano da formação Candeias e Folhelho da Bacia do Parnaíba da Formação Pimenteiras-TO.

Tabela 1 – Identificação utilizada para as amostras de formações reativas estudadas.

Nomenclatura utilizada	Tipo de formação reativa	Região de procedência
FB	Folhelho	Bahia
FT	Folhelho	Tocantins
FBPA	Argila Bentonítica	Paraíba

Métodos

Capacidade de troca de cátions

A capacidade de troca de cátions (CTC) da argila foi determinada a partir do método de adsorção de azul de metileno (SOUZA SANTOS, 1972).

Fluorescência de raios X

A análise química das argilas por fluorescência de raios X (FRX) foi realizada pelo método semiquantitativo, sob atmosfera de nitrogênio. O equipamento utilizado foi o modelo EDX-720 marca SHIMADZU pertencente ao Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais/CCT/UFCEG.

Análise térmica diferencial e termogravimetria

A análise térmica diferencial (ATD) determina a diferença da temperatura de uma amostra em relação a uma referência inerte, nesse caso, hidróxido de alumínio (Al_2O_3). A análise termogravimétrica (ATG) consiste da variação de massa da amostra em função da temperatura e/ou tempo. As análises das amostras foram

realizadas no Sistema de Análise Térmica modelo RB-3000-20 do Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais/CCT/UFCG.

Difração de raios-X

A difração de raios-X (DRX) é um método amplamente utilizado na caracterização das estruturas de reticulados, logo, consiste em um método bastante útil na identificação qualitativa de alguns componentes nos folhelhos a serem estudados neste trabalho. As medidas de difração de raios-X foram realizadas em equipamento XRD 6000 da Shimadzu no Laboratório de Cerâmica da UAEMA/UFCG. A radiação utilizada foi de $K\alpha$ do Cu (40 kV/30 mA) com 2θ variando a baixos ângulos.

Inchamento de Foster

Foram realizados ensaios baseados na metodologia de inchamento de Foster (1953). Para tanto, em uma proveta de 100 mL de capacidade contendo 50 mL de água e inibidores nas concentrações definidas (8, 10, 12, 14,16, 18 e 20 g de inibidor/ 350 mL de água) foi adicionada lentamente 1g de argila bentonítica ativada. Os sistemas foram deixados em repouso e após 24h foram efetuadas as leituras do inchamento. Esta etapa foi desenvolvida no Laboratório de Pesquisa de Fluidos de Perfuração do LABDES/ UFCG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foi realizada a medida da capacidade de troca de cátions (CTC). A CTC é uma propriedade que deriva das características estruturais de um argilomineral, e a determinação desse parâmetro é indispensável para uma avaliação mais exata das formações reativas, já que cada argilomineral possui uma faixa de valores característicos. As Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, os valores típicos de CTC de alguns argilominerais e os valores da CTC das formações reativas listadas anteriormente na Tabela 1.

Tabela 2- Valores característicos da CTC de argilominerais importantes.

Argilomineral	CTC (meq/ 100 gramas)
Caulinita	3-15
Ilita	10-40
Vermiculita	100-150
Esmectita	80-150

Tabela 3- Capacidade de troca de cátions (CTC) para as formações reativas estudadas.

Nome da amostra	CTC (meq/ 100 gramas)
FB	82
FT	24
FBPA	84

De acordo com Santos (1977), o teor de esmectita se apresenta em muitas ocasiões como o único parâmetro para escolha adequada de um fluido de perfuração, devido ao alto potencial de expansibilidade que este argilomineral apresenta (o que pode ser constatado pela faixa de CTC apresentada pelo mesmo). Deste modo, é possível fazer uma correlação entre o potencial de reatividade das formações com o potencial de reatividade dos mesmos. Em estudo realizado por Rabe (2003), o mesmo classifica folhelhos com CTC entre 47 - 49 meq/ 100 gramas como folhelhos que apresentam elevados teores de troca catiônica. Assim, comparando essa faixa de valores com os obtidos neste estudo, observa-se que duas (FB e FBPA) das três amostras estudadas apresentam reatividade.

A partir do exposto, pode-se observar a partir da Tabela 3, que as formações FB e FBPA (82 e 84 meq/ 100 gramas, respectivamente) possuem maiores capacidades de hidratação, ou seja, apresentam maior capacidade de absorver água e conseqüentemente maiores taxas de expansão. Fazendo um comparativo entre esses resultados e a Tabela 2, pode-se afirmar que as formações FB e FBPA apresentam valores de CTC próximos ao estabelecido para a esmectita (80 – 100 meq/ 100 gramas), indicando assim que provavelmente tais formações apresentem sua composição quantidade considerável desse tipo de argilomineral, o que tende a provável explicação da tendência que tais formações possuem em relação à hidratação. Observou-se uma CTC de moderada a baixa nos argilominerais no folhelho FT, ou seja, o mesmo apresenta por conseqüência pouca ou nenhuma reatividade o que acarreta em uma nula ou baixa hidratação.

Pode-se, assim, indicar que os folhelhos FB e argilas FBPA são as formações que apresentam reatividade de moderada a alta segundo resultados analisados por meio da capacidade de troca de cátions.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados das análises químicas obtidas para os folhelhos estudados a partir da técnica de fluorescência de raios-X (FRX).

Tabela 4 – Análises químicas dos constituintes dos folhelhos.

Composição percentual (%)												
Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	BaO	SO ₃	P ₂ O ₅	CaO	Na ₂ O
FB	53,46	17,00	8,65	3,94	0,97	2,72	0,13	0,34	0,28	0,05	1,54	0,71
FT	60,80	33,18	1,26	1,98	5,15	-	-	0,27	0,25	-	9,27	-
FBPA	64,11	18,53	9,39	0,44	2,66	0,88	0,04	0,23	0,28	0,26	1,27	1,84

A partir da análise da Tabela 4, verifica-se que ambos os folhelhos estudados (FB e FT) apresentam maior proporção de silicatos e aluminatos, o que provavelmente indica a existência de quartzo (SiO₂) e de argilominerais como a caulinita, esmectita e illita em suas composições.

Os teores de óxido de cálcio (CaO) apresentados pelas formações FB e FC indicam a provável presença de calcita nestas formações. Um alto teor de CaO como o observado em FT pode indicar a presença de microfósseis de organismos marinhos. A presença de óxido de magnésio (MgO) indica a provável presença de dolomita. Os teores de óxidos alcalino terrosos (CaO e MgO) pode também indicar a presença de carbonatos. Para a argila FBPA o alto teor de óxidos alcalinos pode estar relacionados com o fato de que a argila Barsgel PA ser policatiônica, e desta forma apresenta altos teores de tais elementos.

Fazendo a análise da amostra de formação FB, temos que o mesmo apresenta um alto teor de SiO₂ (53,46%) o que por sua vez indica alto teor de quartzo na amostra. Observa-se também uma presença considerável de Al₂O₃ (18,00 %). Tomando por base uma amostra de argila reativa estudada por Souza Santos (1968) quando da descoberta das argilas de Boa Vista, PB, com seguinte composição: 51,10 % de SiO₂, 17,30 % de Al₂O₃, 6,78 % de Fe₂O₃, e 0,55 % de K₂O, constata-se que parte dos percentuais obtidos para a argila reativa se assemelham ao folhelho FB (SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃), contudo o folhelho FB apresenta um percentual de K₂O mais evidenciado, o que pode indicar a presença mais contundente de illita em sua composição. Os altos teores de óxidos alcalinos terrosos podem indicar a presença de carbonatos na composição dos folhelhos. A presença do cálcio e magnésio pode evidenciar o caráter policatiônico da amostra.

Fazendo a análise da amostra FT constata-se um expressivo percentual de SiO_2 indicando intensa presença de quartzo, já a presença de K_2O (1,98 %) pode indicar presença de illita.

A amostra FBPA apresenta altos teores de SiO_2 (64,11 %) e de Al_2O_3 (18,53 %), sendo este um indicativo de presença de argilominerais como a esmectita, assim como o alto teor de Fe_2O_3 (9,39 %) também indica a presença de argilominerais do grupo da esmectita. O teor de 2,66 % de MgO pode indicar que por ser industrializada a amostra pode ter sido aditivada com algum composto de Mg como por exemplo o MgCl_2 ou $\text{Mg}(\text{OH})_2$, dada sua natureza policatiônica.

Nas Figuras 1, 2 e 3 observa-se respectivamente as curvas das análises termodiferenciais e termogravimétricas das amostras de folhelhos (FB e FT) e a formação reativa FBPA.

Figura 1 - Curvas de: a) análise térmica diferencial e b) análise térmica gravimétrica para a amostra de folhelho FB.

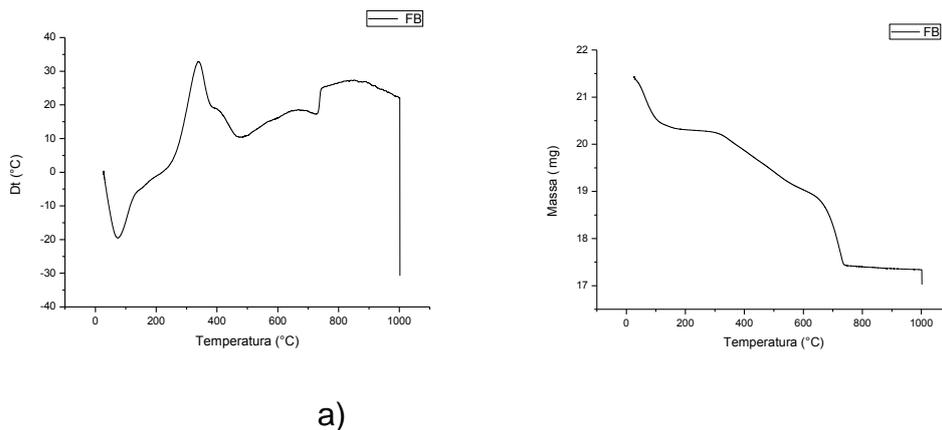


Figura 2 - Curvas de: a) análise térmica diferencial e b) análise térmica gravimétrica para a amostra de folhelho FT.

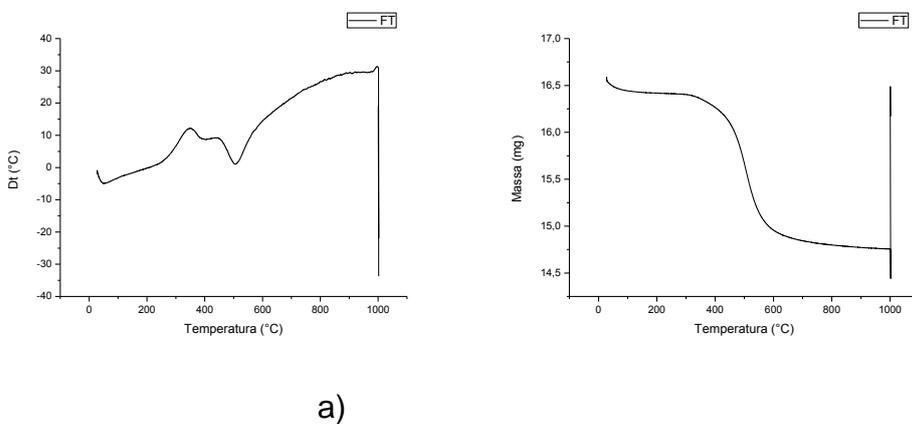
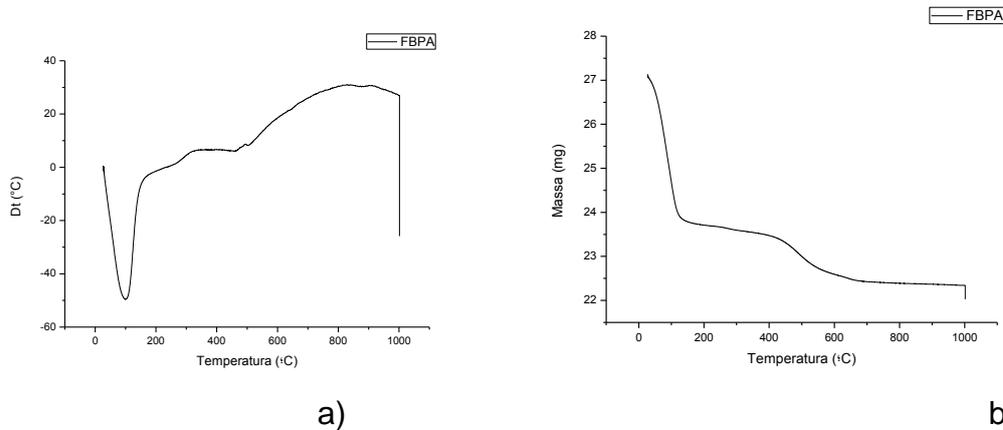


Figura 3 - Curvas de: a) análise térmica diferencial e b) análise térmica gravimétrica para a amostra de folhelho FBPA.



A partir da Figura 1 a) pode-se analisar a curva de ATD da amostra FB. Observa-se primeiramente um pico endotérmico a cerca de 80 °C que caracteriza a perda de água adsorvida. Observa-se também uma banda endotérmica a aproximadamente 200 °C que pode ser proveniente da água coordenada aos cátions de cálcio e magnésio (que fica evidenciado pelo resultado obtido por meio do FRX da amostra). Um pico exotérmico é observado a cerca de 350 °C, e isso pode ser devido a presença de ilita (estas quando em folhelhos apresentam matéria orgânica cuja combustão produz um pico endotérmico entre 200 e 400 °C). A seguir observa-se uma banda endotérmica entre 400 e 680 °C que caracteriza perda de hidroxila. O pico em 500 °C pode indicar a presença de esmectita rica em ferro.

Em relação a Figura 1 b) obteve-se uma perda total de massa de 20,59 %. A primeira perda se deve muito provavelmente a perda de água livre e coordenada e a segunda inflexão encontrada deve-se muito provavelmente a perda de hidroxilas.

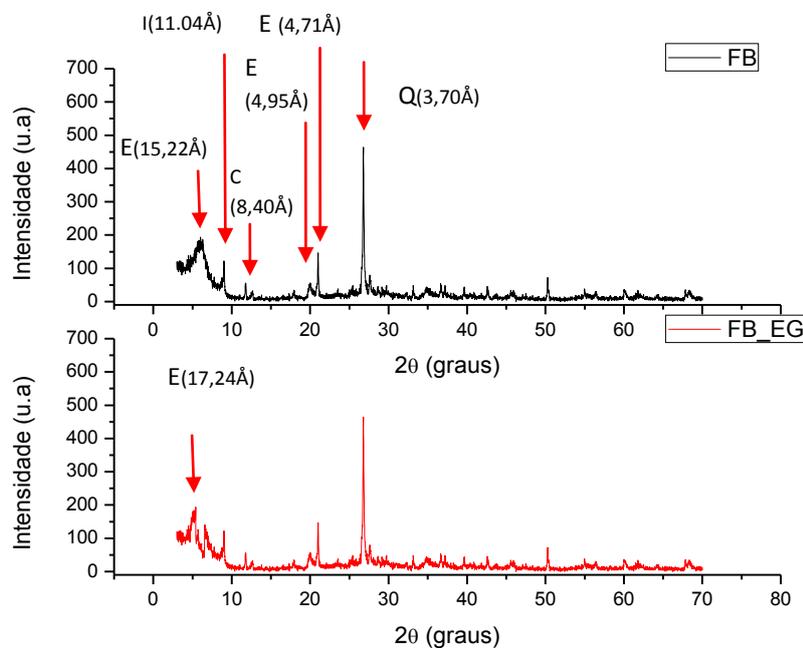
Na Figura 2 a) observa-se a curva de análise térmica diferencial para a amostra FT. Primeiramente percebe-se uma inflexão endotérmica relativa a perda de água adsorvida, em seguida observa-se um pico exotérmico a cerca de 350 °C que provavelmente se refere a combustão de matéria orgânica que, em geral, ocorre entre 200 e 400 °C. O pico observado na temperatura de 500 °C refere-se à perda de hidroxila. Na Figura 2 b) observa-se uma perda de massa total de 12,9 %. Primeiramente observa-se uma perda menos pronunciada referente à perda de água e, em seguida, uma perda de massa associada à combustão de matéria orgânica.

Analisando a Figura 3 a) observa-se um pico endotérmico referente à perda de água adsorvida, uma banda endotérmica característica da presença de hidroxilas

estruturais e de argilas ricas em ferro e um pico endo-exotérmico característico da destruição do reticulado cristalino. Em relação à Figura 3 b) observa-se uma perda de massa total de 17,76 %, sendo uma primeira perda de massa referente à água adsorvida e coordenada e uma segunda perda proveniente da combustão de matéria orgânica e perda de hidroxila.

Para identificação de constituintes mineralógicos das amostras de formações reativas por meio de um estudo qualitativo foi utilizada a técnica de difração de raios-X (DRX). Observa-se os difratogramas de todas as amostras nas Figuras 4, 5 e 6.

Figura 4 - Difratograma de raios- X para a amostra de folhelho FB com e sem etileno glicol.



A Figura 4 apresenta em seu difratograma picos que caracterizam a presença de esmectita em sua composição como pode ser visualizado no deslocamento do pico de 15,22 Å para 17,24 Å, para a amostra tratada com etileno glicol. O pico a 4,95 Å também se refere a presença de argilominerais do grupo da esmectita na composição da amostra analisada, pico de 11,04 Å se refere muito provavelmente a presença de illita da amostra. A presença da caulinita fica evidenciada no pico a 8,40 Å, a presença do quartzo fica confirmada pela presença do pico a 3,70 Å.

Analisando-se o difratograma contido na Figura 5 observa-se a ausência de picos que caracterizam a presença de esmectita na composição da formação FT. Tal fato pode ser confirmado pela ausência de deslocamento de pico na presença de

etileno glicol na amostra. Para esta amostra são observados os seguintes picos: a 11,04 Å, característico da presença de ilita, a 7,93 Å e 4,83 Å indicando presença de caulinita, e a 3,96 Å e 3,72 Å, característico da presença do quartzo.

Figura 5 - Difratoograma de raios- X para a amostra de folhelho FT com e sem etileno glicol.

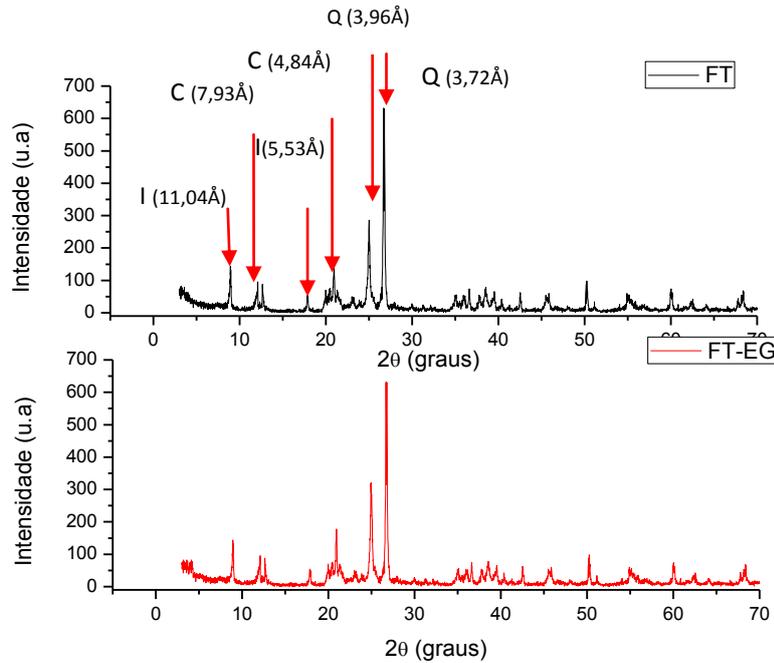
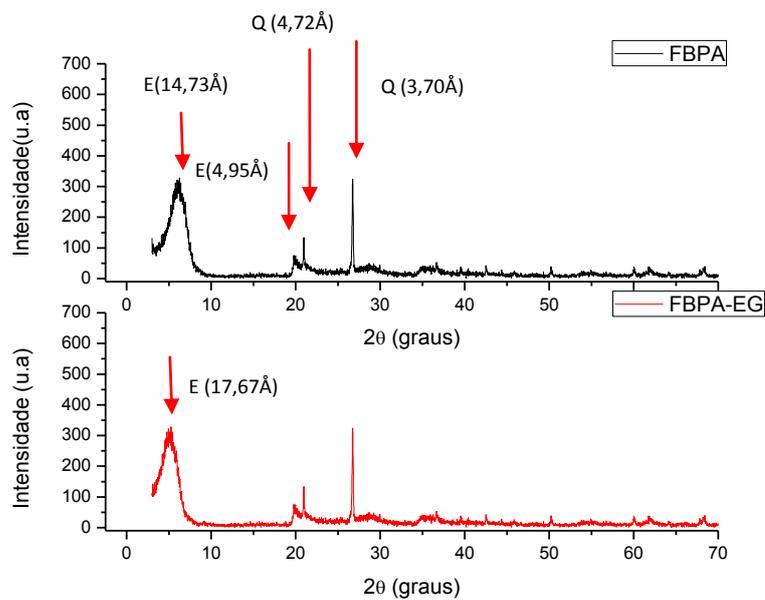


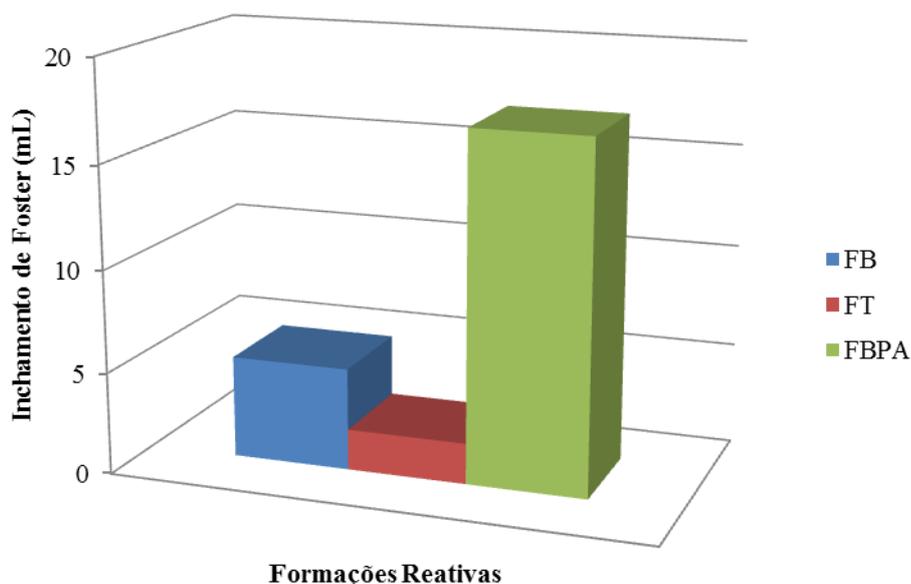
Figura 6 - Difratoograma de raios- X para a amostra de folhelho FBPA com etileno glicol.



A análise do difratograma da formação reativa a amostra FBPA presente na Figura 6 evidencia claramente picos característicos da esmectita, contudo a presença deste argilomineral só pode ser comprovada após a realização do ensaio de difração de raios-X a amostra apresenta picos que tornam provável a presença de quartzo em sua composição. Na Figura 6 pode ser visualizado no deslocamento do pico de 14,73 Å para 17,67 Å, para a amostra tratada com etileno glicol, o pico a 4,95 Å se refere a presença de argilominerais do grupo da esmectita, a presença do quartzo pode ser confirmada pela presença do pico a 4,72 Å e 3,70 Å. A presença de esmectitas nas amostras FB e FBPA é constatada de acordo com os ensaios realizados, sendo assim, os resultados indicam que tais formações apresentam em suas composições frações de esmectita (formação com alto grau de expansão), ou seja, apresentam potencial de hidratação.

O ensaio de inchamento de Foster foi realizado para as formações reativas estudadas conforme pode ser visto na Figura 7, a partir do ensaio pode-se observar que as formações que apresentaram indicativo da presença de esmectita de acordo com os ensaios de caracterização, também foram aqueles que apresentaram um maior valor de inchamento de Foster, confirmando assim, que a caracterização das amostras auxilia na identificação da presença de argilominerais reativos nas formações estudadas.

Figura 7 – Inchamento de Foster para as formações reativas estudadas.



CONCLUSÕES

Como objetivo de caracterizar folhelhos de locais distintos regiões do país para explicar a susceptibilidade de hidratação de cada uma dessas formações,conclui-se que:

- as formações FB e FBPA, de acordo com o ensaio de CTC, apresentaram graus de reatividade semelhantes ao encontrado para as argilas bentoníticas, o que indica uma grande capacidade de absorver água;
- as formações estudadas apresentaram grande proporção de silicatos e aluminatos;
- o folhelho FT devido ao seu alto percentual de óxidos alcalinos apresenta provavelmente uma baixa reatividade em presença de água o que pode ser confirmado de acordo com o ensaio de Inchamento de Foster;
- de acordo com os resultados de DRX, as formações FB e FBPA apresentaram picos característicos da esmectita, e deslocamento do pico para as amostras contendo etileno glicol o que indica a presença de esmectita e conseqüentemente uma maior probabilidade de expansão frente à água;
- as formações FB e FBPA, a partir da caracterização e Inchamento de Foster realizada apresentaram características que indicam alta reatividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, L. V. *et al*, **Estudo reológico de fluidos de perfuração à base de água:Influência do teor de sólidos, velocidade e Tempo de Agitação**, Águas Subterrâneas, v. 19, n. 1, p. 75-85, 2006.
- CORRÊA, C. C.; NASCIMENTO, R. S. V.; MARQUES de SÁ, C. H. **Estudo das interações químicas e mecânicas entre rocha-fluido de perfuração que contribuem para a instabilidade dos poços de petróleo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 2004, Salvador. ANP, 2004. 7p.
- LOMBA, R. F. T.; SÁ, H. M. S.; PEREZ, R. C. **Desenvolvimento de metodologia de testes para avaliação da interação folhelho-fluido de perfuração**,OrganicGeochemistry, PETROBRAS,2000.
- MACHADO J. C. V., **Reologia e escoamento de fluidos**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2002.

RABE, C.; FONTOURA, S. A. B. **Efeito dos sais orgânicos nas propriedades físicoquímicas de folhelhos.** In: Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás – Rio Oilandgas. Rio de Janeiro, 2003.

SANTOS, P. S., **Ciência e tecnologia de argilas**, vol.2, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1992.

FERREIRA, H. C.; ZANDONADI, A. R.; SOUZA SANTOS, P.; **Correlações lineares entre áreas específicas de caulins determinadas por diversos métodos: Aplicação a alguns caulins do Nordeste Brasileiro (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte)**, Cerâmica 18, (1972) 333.

VAN OORT, E., **On the physical and chemical stability of shales**, Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 38, p. 213– 235, 2003.

VAN OORT, E.; RIPLEY, D.; WARD, I.; CHAPMAN, J.W.; WILLIAMSON, R.; ASTON, M., **Silicate-based drilling fluids: competent cost-effective and benign solutions to wellbore stability problems.** Paper SPE 35059 presented at the IADC/SPE Drilling Conference, New Orleans, p. 12– 15, 1996.

REACTIVE FORMATIONS: CHARACTERIZATION AND CAPACITY EXPANSION

ABSTRACT

During the drilling of oil wells it is common for the detection of layers consisting of clay minerals high degree of hydration arranged in laminar packages. When in contact with water, the packets are separated clay as the water enters the basal spacing. Argillaceous formations such as shales containing smectite are sensitive to the presence of water and the greater the amount of smectite, higher reactivity in the presence of water. This phenomenon is known as expansion or swelling. Given this, this paper aims to characterize shales in two regions of the country to explain the susceptibility of hydration of each of these formations. This characterization was done by making use of CTC, XRF, DTA, TGA and XRD. The results obtained showed that among the shales studied, those with the greatest degree of clay fractions (smectite) in its composition showed higher swelling index according to the methodology of Foster.

Key-words: shales, swelling, characterization)