

TÉCNICAS UTILIZADAS NA CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO SUJEITOS AO ATAQUE ÁCIDO

Fábio de Azevedo Oliveira¹, Franklin Silva Mendes¹, Jose Alciran Alves de Lima¹; Luiz Pedro Vilela Avelino Silva¹; Joumario Andrade de Macedo¹.

¹ Universidade Potiguar, Unidade Acadêmica de Engenharia Petróleo- franklinmendes@unp.br

RESUMO

A existência de reservatórios de petróleo que apresentam óleo pesado nos interstícios faz necessária à implantação de técnicas com o objetivo de manter ou melhorar a produtividade. Um dos métodos aplicados para elevar a produtividade é a recuperação baseada na injeção de ácidos através de poços. Compósitos portland-polímeros são promissores candidatos à cimentação de poços de petróleo produtores de óleos pesados por apresentarem propriedades mecânicas melhores em relação ao cimento portland, podendo diminuir a frequência de operações de correção. Neste trabalho, foi realizado um levantamento das técnicas utilizadas na cimentação de poços sujeitos ao ataque ácido. A adição de polímeros como carga e como formadores de filme, contribui para redução da perda de massa dos compósitos frente ao ataque ácido, apresentando resistência e formando barreiras de proteção contra agentes agressivos, ocupando os vazios da pasta de cimento e diminuindo a permeabilidade, reduzindo assim o material disponível para degradar. O prosseguimento das pesquisas relacionadas às técnicas utilizadas na cimentação de poços sujeitos ao ataque ácido é de fundamental importância para a indústria petrolífera e demais interessados no assunto, com o intuito de buscarem o conhecimento técnico-científico, além da relação custo/benefício favorável as operações.

Palavras-Chave: Cimentação de poços de petróleo, Cimento Portland, Polímeros, Ataque ácido.

1. INTRODUÇÃO

A cimentação é uma das operações mais importantes e é essencial na construção de um poço de petróleo, tanto na fase de perfuração como na de completação, e tem grande impacto sobre sua produtividade. A função da cimentação é promover o isolamento completo e permanente de zonas produtoras localizadas atrás do revestimento, uma vez que a comunicação entre zonas produtoras de petróleo com as produtoras de gás e água é indesejável, pela contaminação de aquíferos ou produção descontrolada de gás pelo anular (GUO, 2006; MARINHO, 2004; BACK & LILE, 1999). A cimentação deficiente, seja por falha operacional ou por erro de formulação da pasta de cimento, pode ocasionar danos aos poços de petróleo, levando até mesmo à perda dos mesmos, causando prejuízos financeiros às companhias petrolíferas.

De uma maneira geral a cimentação está sujeita a atravessar as mais diversas zonas, as quais contêm águas eletrolíticas, óleo, gases, fluidos corrosivos, contaminantes, entre outros, favorecendo a degradação da bainha cimentante. Alguns ácidos podem ser oriundos da própria formação geológica, como por exemplo, o HCl, HF, H₃PO₄ e H₂SO₄, que são gerados a partir de produtos excretados por microrganismos em processos microbiológicos do petróleo, onde existem inúmeras bactérias as quais excretam ácidos como produtos de sua atividade celular (MAGOT *et al.*, 2000). Isto ocorre principalmente nos sistemas em que há injeção de água produzida (MAXWELL, 2006); ou, em maior intensidade, provenientes de processos de acidificação de poços de petróleo como é o caso da injeção do próprio ácido.

Em se tratando da atividade de acidificação (BRYANT & BULLER, 1990; MORGENTHALER *et al.*, 1997; KE & BOLES, 2004) o problema é mais sério devido o ácido apresentar concentrações bem mais elevadas que nos outros casos e seu contato com a bainha cimentante adjacente aos canhoneados se torna inevitável, visto que é injetado no interior do revestimento e atinge a formação através dessa intercomunicação, podendo também o meio agressivo penetrar atingindo as interfaces revestimento/bainha de cimento e/ou bainha de cimento/formação. O sucesso na proteção da corrosão externa do revestimento está na bainha cimentante, seus materiais e qualidade. Harari e King (1990) dizem que problemas de corrosão externa nas tubulações de revestimento de petróleo são tão constantes que esforços como proteção catódica e uso de ligas de elevada resistência à corrosão têm sido utilizadas, mas como envolvem



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

um custo adicional aos sistemas, o estudo para efetuar uma correta cimentação primária com pastas de cimento que favoreçam, física e quimicamente, a proteção do aço é a melhor alternativa.

Um comportamento positivo no sentido de proteção à corrosão externa da tubulação de revestimento irá corroborar com mais um passo para a aplicação de compósitos com polímeros em campo, bem como a avaliação eletroquímica irá orientar de forma mais adequada às novas formulações ácidas e de materiais que sejam passíveis de emprego na cimentação de poços de petróleo expostos a operações de acidificação, pois não é de interesse científico e operacional que o compósito utilizado na cimentação seja resistente ao ataque ácido e, paralelamente, um precursor da corrosão eletroquímica da coluna de revestimento. Assim, busca-se com caráter inovador entender os mecanismos de ação do ataque ácido a materiais compósitos Portland especial/polímeros, em suas melhores formulações até então estudadas, bem como caracterizar sua eficiência na capacidade de proteção física e química de aços contra a corrosão induzida por esses ambientes hostis. Também constitui uma proposição nova a avaliação das propriedades mecânicas após o ataque ácido.

Segundo Hodnea (2000) a cimentação primária consiste no preenchimento do espaço anular entre o revestimento e a formação de modo a se obter fixação e vedação eficiente e permanente deste espaço anular. Sem o completo isolamento das zonas, o poço nunca alcançará seu completo potencial como poço produtor de óleo ou gás. Em cada seção do poço é utilizada uma pasta de cimento que depende de muitos fatores operacionais e locais. Em vários casos, a seleção de densidade das pastas é indicada por fatores que estão além das simples pressões de poro e fratura.

A pasta de cimento é um sistema reativo, onde ocorrem reações químicas entre as fases sólidas e a água de mistura para formação de novas espécies possuindo propriedades relacionadas (VLACHOU, 1997). A evolução química e microestrutural das pastas de cimento durante as primeiras horas têm sido tema diversos estudos (TAYLOR, 1991; METHA, 1994), isto porque, as características requeridas para uma pasta de cimento dependem de cada poço e de cada situação. Fatores como pressão, profundidade, temperatura e gradiente geotérmico são muito importantes na formulação de pastas de cimento.

Atualmente a busca por materiais alternativos a serem utilizados em cimentação de poços de petróleo é uma atividade em pleno desenvolvimento. Mesmo assim, o cimento Portland continua sendo o material mais utilizado pelas companhias de cimentação. Os desafios dizem respeito à melhoria das propriedades termomecânicas de fragilidade, tenacidade e deformação plástica durante o processo de fratura, que são características inerentes às pastas cimentantes. Pastas de cimento

www.conepetro.com.br

br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

portland são extensamente usadas na cimentação de poços de petróleo com o objetivo de promover a vedação entre as zonas permeáveis ou em um único intervalo permeável, impedindo assim, a intercomunicação de fluidos, tais como gás e água, da formação que ficam por trás do revestimento, bem como propiciar suporte à coluna de revestimento (NASCIMENTO, 2006).

No Brasil, especificamente no Rio Grande do Norte é encontrado petróleo de alta viscosidade, e por isso operações de recuperação são comumente realizadas para ajudar seu escoamento. Dentre as diversas operações de recuperação, a acidificação é utilizada onde as zonas produtoras de petróleo apresentam baixa produtividade devido a danos da formação causados por partículas sólidas de minerais ou outros materiais que obstruem parcialmente o espaço poroso nas proximidades do poço e a baixa permeabilidade dessa formação. Os fluidos de tratamentos ácidos e coadjuvantes são escolhidos em função dos mecanismos dos danos atuantes, da mineralogia e propriedades petrográficas da rocha, dos mecanismos de remoção de danos selecionados e das condições do poço.

Alguns ácidos são mais utilizados em operações de acidificação tais como: o ácido clorídrico (HCl), empregado basicamente para a dissolução de carbonatos; misturas de ácidos clorídrico e fluorídrico (HCl / HF), para a dissolução de silicatos. Esses ácidos são injetados na formação por forças de bombeamento contínuo, formando canais que facilitam a saída do óleo ou gás (BLOUNT *et al.*, 1991; MUMULLAH, 1995).

Atualmente, a procura por materiais alternativos a serem utilizados em cimentação de poços de petróleo é uma atividade em pleno desenvolvimento. A alta trabalhabilidade, com o uso de plastificantes tradicionais é perdida em 30 min, dependendo principalmente da dosagem na mistura. A perda de trabalhabilidade ocorre devido à formação de alguns hidratos na mistura e a coagulação de partículas de cimento liofóbicas, redução da fase líquida e aumento de viscosidade (AIAD, 2003). Esse tipo de problema deverá ser contornado por meio da utilização de novos aditivos químicos capazes de suportar as diversas condições de poços, promovendo às pastas de cimento propriedades compatíveis às condições encontradas, permitindo, ainda, um tempo suficiente de trabalhabilidade para a completa execução do serviço de cimentação.

Durante a operação de acidificação no poço, os fluidos ácidos podem entrar em contato com a pasta de cimento hidratada da zona de isolamento. Por sua vez esses ácidos podem reagir com os componentes da hidratação do cimento e causar danos severos a zona isolante (NASR-EL-DIN *et al.*, 2007). Desta forma, há uma preocupação quanto à possível alteração da pasta de cimento

endurecida posicionada no anular de poços quando em contato com o ácido durante os tratamentos por acidificação. Estudos da natureza química do ataque ácido a pasta de cimento para poços de petróleo são poucos e escassos, principalmente em pasta de cimentos formulada com látex (compósito portland/látex) e sua influência nas propriedades mecânicas desses compostos (CESTARI *et al.*, 2005).

Considerando a importância do estudo de cimentação de poços, a necessidade do emprego da técnica de injeção de ácido para melhoria da produção e levando em consideração a escassez de estudos relacionados à ação de ácido na pasta de cimento em poços de petróleo, o escopo do presente trabalho se baseou em um levantamento técnico-científico para relatar as variadas formulações de compósitos portland que são usados em operações de cimentação de poços petrolíferos frente ao ataque ácido. Dentro da literatura abordada, foi averiguada a influência do ataque ácido na diminuição de massa dos compósitos, na resistência à compressão e na microestrutura.

2- REVISÃO DA LITERATURA

Apesar do cimento Portland apresentar excelente comportamento químico diante das condições de poço, seu comportamento mecânico não é satisfatório. Compósitos portland-polímeros são futuros e promissores candidatos à cimentação de poços de petróleo produtores de óleos pesados no Nordeste do Brasil. O mecanismo de ataque ácido a pastas de cimento portland convencionais comumente utilizadas em operações de cimentação já é bastante conhecido, no entanto, os mecanismos da ação deletéria após a adição de polímeros à mistura necessitam ser desvendados.

Atualmente, polímeros vêm sendo estudados e adicionados às pastas de cimento portland especial funcionando como carga (no caso da poliuretana em pó, borracha moída e biopolímero) e ora como filme, como é o caso das poliuretanas em dispersão aquosa (LIMA, 2004). Chung (2004) divide em dois grupos semelhantes: pó seco e dispersão aquosa de partículas. A dispersão aquosa de partículas é mais eficiente na melhoria das propriedades mecânicas e de durabilidade, uma vez que a distribuição do filme polimérico é mais efetiva (CHUNG, 2004).

Há um consenso de que a presença de polímeros na pasta de cimento resulta na melhoria da estrutura do poro, reduzindo, conseqüentemente, a porosidade (CHUNG, 2004), bem como a taxa



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

de hidratação é reduzida pela presença dos polímeros (OLLITRAULT-FICHET *et al.*, 1998; ODLER & LIANG, 2003; *apud* CHUNG, 2004). Esse ponto é extremamente importante na solubilidade dos materiais cimentícios em ácidos, uma vez que a durabilidade dos compósitos de cimento está diretamente ligada à sua própria capacidade de se impermeabilizar frente a líquidos e gases.

2.1- OPERAÇÃO DE CIMENTAÇÃO

Nelson *et al.* (1990) divide a operação de cimentação em duas etapas: primária e secundária. A primeira tem como objetivo a formação de um anel de pasta de cimento ao redor dos tubos de revestimento e de produção e é executada com emprego de um sistema de injeção de alta pressão, onde a pasta de cimento é colocada no interior da tubulação até extravasar pelo espaço entre formação rochosa e parte externa da tubulação, o que preenche totalmente este espaço.

Entretanto a cimentação secundária só se faz necessária quando falhas na completação do poço são detectadas e novos serviços são requeridos para garantir a vedação do complexo produtivo ou quando há necessidade de selamento/tamponamento do poço após o término de sua exploração. Segundo Thomas (2004), Santos Júnior (2006) e Pelipenko *et al.* (2004), os fatores que influenciam para que ocorram falhas na completação são: pastas de cimento mal projetadas (densidade incorreta, gelificação prematura, segregação/exsudação); fluxo de gás ascendente; entrada de gás na coluna de pasta; contração volumétrica; aderência insuficiente.

Os principais problemas decorrentes de uma operação de cimentação estão correlacionados ao deslocamento inadequado da lama de perfuração e da pasta de cimento. Já as características das formações rochosas que serão perfuradas pelo poço, como por exemplo, gradientes de fratura, zonas de gás, reservatórios de água, temperatura, também influenciam no desempenho da pasta (NELSON *et al.*, 1990 e BEZERRA, 2006).

2.2- CIMENTO PORTLAND

Em geral o material mais utilizado para cimentação de poços é o cimento Portland. As mais variadas qualidades desse material possibilitaram ao homem moderno promover mudanças expressivas em obras de engenharia, tal como a cimentação de poços de petróleo. Apesar de suas

www.conepetro.com.br

br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

qualidades e de seu uso generalizado, novos desafios têm sido propostos aos pesquisadores da área cimenteira, particularmente no que diz respeito ao consumo, utilização e melhorias dos cimentos e à adequação do produto às diversas solicitações de um poço de petróleo (GOUVÊA, 1994). Os cimentos pertencem à classe de materiais denominados aglomerantes hidráulicos.

Conforme Thomas (2004) cimento portland é resultante da moagem do *clínquer*. Este é obtido pela cocção até fusão incipiente da mistura de calcário e argila que é dosada e homogeneizada e adicionada pequena quantidade de sulfato de cálcio (gesso). Dentre os principais componentes químicos do cimento portland destacam-se a cal (CaO) alcançando limites de 60% a 67%, a sílica (SiO_2) com um percentual de 17% a 25%, alumina (Al_2O_3) com participação de 3% a 8% e óxido de ferro (Fe_2O_3) com valores entre 0,5% e 6%. Esses quatro componentes são designados pelas letras C, S, A e F, respectivamente e dão origem a compostos complexos que determinam as propriedades do cimento

2.3- ATAQUE ÁCIDO

Alguns estudos reportam que, a pasta de cimento endurecida para poço formulada apenas com portland/ água é, severamente, atacada por soluções ácidas, o que vai contra a sua função primordial que é, normalmente, apresentar ao longo de sua vida útil, resistência suficiente para suportar o revestimento no poço perfurado, isolando zonas, prevenindo a comunicação de fluidos pelo revestimento, resistindo ao choque durante o processo de perfuração e resistir a temperatura de injeção de vapor no caso da recuperação de óleo pesado.

Quando o ácido é introduzido diretamente na formação ou em operações de canhoneio atinge a bainha cimentante ele ataca a portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). A reação resulta na formação de sais de cálcio, que, quando solúveis, podem ser levados pela solução aquosa ácida (Nascimento, 2006). Esse sal é facilmente lixiviado da pasta de cimento, tornando sua estrutura fraca e porosa (MIRANDA *et al.*, 1997).

A perda de cálcio através da reação química do ácido com a portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) são resultados dos mecanismos de degradação de materiais cimentantes susceptíveis a descalcificação. A dissolução da portlandita, geralmente, ocorre mais prontamente, enquanto a do C-S-H ocorre quando o CH (portlandita) está inacessível ou ausente (CHEN *et al.*, 2006). Um dos ácidos mais agressivos ao material cimentante aplicado em poço de petróleo é o ácido clorídrico (HCl), pois produz mais facilmente, sais de cálcio bem como, uma

www.conepetro.com.br

br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

considerável perda de massa e em alguns casos, a formação de trincas devido a possível contração do compósito no processo de descalcificação e conversão dos produtos degradados (ALLAHVERDI & ŠKVÁRA, 2000).

Devido à fragilidade da pasta formulada apenas com portland/água quando em contato com ácido clorídrico, muitas pesquisas estudam a influência da adição de polímeros em forma dispersa (FERNANDES *et al.*, 2006) ou em emulsão (látex) na formulação de pastas compósitas mais resistentes para poços de petróleo (MELO, 2004; NASCIMENTO, 2006). Existem poucos estudos sobre a ação do ácido em compósitos cimento/látex. Apenas, algumas pesquisas como a efetuada por Blount *et al.* (1991), que realizaram vários testes em pastas compósitas portland/ látex em ambiente de ação dinâmica e verificaram que o látex influenciou na pasta, consideravelmente, inibindo a ação do ácido HCl (15%) e HCl/HF (mistura na razão de 13%/ 2%).

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, está uma revisão bibliográfica relacionando fontes a respeito do ataque ácido em pastas de cimento.

Miranda (1995) avaliou ataque ácido em pastas de cimento convencionais confeccionadas com cimento portland Classe G e o HCl 15% foi um dos ácidos estudados. Por fim, Miranda (1995) conclui que a reação entre o corpo-de-prova de cimento e o ácido ocorre apenas na superfície do corpo-de-prova, ressaltando que a parte interna apresenta a composição química original, ou seja, a composição de um corpo-de-prova não atacado.

De acordo com Nascimento (2006) a integridade da bainha cimentante que é responsável pela estabilidade mecânica do poço, tende a ser prejudicada durante a injeção de vapor. Este trabalho propõe a adição de Poliuretana não iônica em dispersão aquosa (Látex) em diferentes concentrações em pastas de cimento Portland usadas em cimentação de poços de petróleo, visando um aumento de tenacidade. A partir dos resultados obtidos verificou-se que o aumento da concentração de poliuretana adicionada na pasta de cimento em determinados percentuais, aumenta-se a tenacidade da pasta, e, portanto, sua capacidade de suportar ciclos termomecânicos.

Nóbrega *et al.* (2007) usaram em uma preparação de pasta de cimento o Cimento Portland Especial, água potável, poliuretana em pó e poliuretana não iônica, denominada W320. Neste trabalho foi utilizado o ácido HCl à 15%. Com relação à pasta de cimento Portland convencional,

depois da adição dos polímeros foi constatado redução da perda de massa, no entanto, sendo a menor perda verificada para o cimento especial tendo como aditivado a poliuretana em dispersão aquosa W320. Já no ataque ácido no compósito aditivado com poliuretana em pó, assim como nas pastas de cimento convencionais, para Nóbrega *et al.* (2007) existe uma formação de três camadas distintas: uma de coloração amarelada (produtos degradados), uma camada intermediária marrom e o interior do corpo-de-prova não atacado todas identificadas na Figura 1.



Figura 1- Camada degradada raspada (a) em pasta convencional e compósitos cimento/poliuretana em pó, (b) compósito cimento/poliuretana aquosa não iônica W320 e (c) interface de cor marrom. Fonte: NÓBREGA *et al.*, 2007

Essa compacta rede polimérica de poliuretana de base aquosa em dispersão W320 resistente ao HCl 15% e compacta ao redor dos grãos de cimento é responsável pela menor perda de massa observada nesse compósito, uma vez que essa rede protege os produtos de hidratação do cimento. A adição dos polímeros em estudos também diminui a porosidade e/ou permeabilidade da pasta de cimento. Isso contribuiu para minimizar o processo de ataque ácido.

Nos trabalhos de Nascimento *et al.* (2007), para análise do efeito do ataque ácido foi verificado os parâmetros perda de massa (%) e a resistência à compressão (MPa) no compósito cimento/látex. Foi utilizado um cimento especial Classe A modificado industrialmente para as formulações dos compósitos. O látex utilizado foi uma dispersão polimérica não iônica (W320) mais o antiespumante dimetil-polisiloxano. O ácido utilizado foi o HCl à 15%. Nascimento *et al.* (2007) observaram uma significativa perda de massa na pasta padrão (8,37 %) quando comparada com os compósitos portland/látex (3,30 % a 4,48 %) como pode ser observado no gráfico da Figura 2. Para eles essa menor perda de massa ocorre devido à ação do látex na hidratação do cimento, impedindo a difusão do ácido para o interior do compósito.

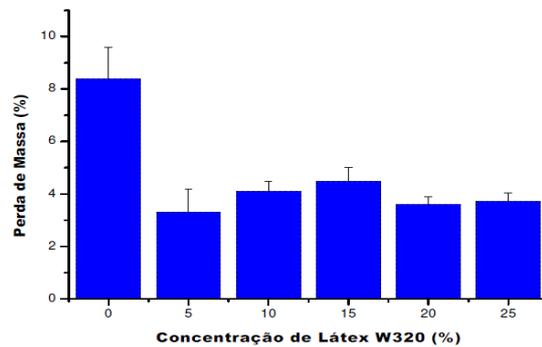


Figura 2- Cálculo da perda de massa dos compósitos frente ao ataque de ácido HCl (15 %). Fonte: (NASCIMENTO *et al.*, 2007)

Já em relação à resistência a compressão da pasta padrão e dos compósitos portland/látex, antes e após o ataque ácido, observaram que não houve uma mudança significativa.

Nóbrega (2008) trabalhou com três ácidos: HCl 15,0 %, HCl 12,0 % e HF 3,0% (Mud acid) e HAc 10,0 % e HF 1,5 %. O autor verificou que, em geral, a adição de polímeros foi positiva, diminuindo a perda de massa dos compósitos cimentícios expostas às condições agressivas semelhantes. Ao comparar a influência da adição de polímeros na resistência à compressão verificou-se que, dentro do erro experimental, todos os compósitos portland-polímeros apresentaram tendência à diminuição na resistência. Em geral, a poliuretana em solução aquosa apresenta maior eficiência na redução da perda de massa de materiais cimentícios frente às soluções ácidas avaliadas, seguida da poliuretana em pó.

Daniel Hastenpflug, (2012) desenvolveu procedimentos experimentais que teve como finalidade fornecer informações a respeito dos efeitos provocados pela adição de redutor de água, desincorporador de ar e sílica ativa a resistência à degradação ao ataque do CO₂ em meio ácido no cimento classe G. O ataque ácido, em condições ambientes de poço, ganha mais velocidade, devido às temperaturas e pressões elevadas, além da alta difusividade do CO₂, que por estar no estado supercrítico possui uma baixa viscosidade e uma alta densidade (GINNEKEN *et al.*, 2004; HARTMANN *et al.*, 1999; GARCÍA-GONZÁLEZ *et al.*, 2007). Segundo Moraes (2012), as reações do ataque ácido em presença do CO₂ supercrítico, em condições de pressão e temperatura elevadas, desenvolve-se de maneira muito rápida nos primeiros dias. Entretanto, devido ao tamponamento dos poros pela precipitação de carbonato de cálcio, a taxa de degradação reduz com o tempo. Em água saturada com CO₂ supercrítico, as pastas de cimento com o aditivo desincorporador de ar apresentaram incrementos na resistência ao ataque ácido de maneira mais significativa. Ocorreu uma redução de 28,56% na profundidade média da região degradada quando

se empregou 0,50% do aditivo, enquanto observou-se uma redução de 33,80% quando o teor de 1,00% foi incorporado na mistura. Estas pastas, quando submetidas ao ensaio de carbonatação por 7 dias, tanto em meio CO₂ supercrítico úmido como em água saturada com CO₂, apresentaram reduções significativas na profundidade média de degradação para ambos os meios e só pôde ser observada com o uso de microscópio.

4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi realizar um levantamento de pesquisas científicas a respeito das técnicas utilizadas na cimentação de poços sujeitos ao ataque ácido para que torne mais claro e acessível ao público interessado no referido tema. Nesse contexto, foi relatada a proposta de cada autor concernente à melhoria da cimentação que por ventura seria “atacada” por ácido, comparando-se as metodologias utilizadas.

Com base nos dados obtidos, os compósitos portland-polímero são soluções possíveis de serem empregadas com sucesso em cimentação de poços de petróleo submetidos concomitantemente à injeção de vapor e operações de acidificação, sendo os polímeros mais promissores, dentre os estudados, a poliuretana em solução aquosa e a poliuretana em pó. Além disso, o uso de desincorporador de ar e sílica também são bons aditivos para diminuição da porosidade do cimento, contribuindo, assim, para uma maior resistência ao ataque ácido.

Dentro do contexto da aplicação das técnicas utilizadas na cimentação de poços produtores de hidrocarbonetos sujeitos ao ataque ácido, observa-se a importância e a profundidade dos trabalhos realizados sobre este tema, os quais são fundamentais para indústria petrolífera e demais interessados no assunto, pois buscam o conhecimento e aperfeiçoamento técnico-científico e a relação de um custo/benefício favorável às operações.

O prosseguimento das pesquisas e o desenvolvimento de técnicas para melhoria da produção de óleo e gás, principalmente no que se refere aos campos de petróleo na região Nordeste do Brasil, por estarem maduros, é uma necessidade contínua, pois os poços localizados especificamente nessa área do país e em campos petrolíferos em situação similar, ao sofrerem ataque ácido, provavelmente apresentarão desgaste na cimentação adjacente. Já em poços a serem perfurados ocorre a necessidade da realização de mais estudos voltados para o contexto desta intervenção, pois mesmo que a cimentação futuramente não venha sofrer com esse ataque devido à operação de injeção de

ácido ou CO₂, naturalmente ocorrerá à agressão devido à presença ou formação de ácido na própria formação geológica.

5 REFERÊNCIAS

AIAD, I. **Influence of time addition of superplasticizers on the rheological properties of fresh cement pastes.** *Cement and Concrete Research*, n. 33, p. 1229–1234, 2003.

BACK, K.R.; LILE, O.B., **A laboratory study on oilwell cement and electrical conductivity**, (SPE) 56539, october, 1999.

BEZERRA, U. T. **Compósitos Portland-Biopolímero para Cimentação de Poços de Petróleo.** 278 p. Tese - Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

BLOUNT, C.G., BRADY, J.L, FIFE, D.M., GANTT, L.L., HEUSSER, J.M., HIGHTOWER, M.C., ARCO ALASK INC. **HCl/HF Acid resistant Cement blend: Model Study and Field Application.** *Journal of Petroleum Technology*. USA: SPE Publishing, vol. 43 (2), p. 226-232, 1991.

CESTARI, A.R., VIEIRA, E.F.S., ROCHA, F.C. **Kinetics of interaction of hardened oil well cement slurry with acidic solutions from isothermal heat-conduction calorimetry.** *Thermochimica acta*. USA: Elsevier Publishing, v. 430 (2), p.211-215, 2005.

CHUNG, D. D. L., **Review – Use of polymers for cement-based structural materials.** *Journal of Materials Science*, v.39, n.9, p.2973-2978. 2004.

DALLA VECCHIA, F. **Avaliação da degradação por CO₂ supercrítico da pasta de cimento empregada em poços de petróleo.** Porto Alegre. 2009. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul.

FREITAS, J. J., **Validação de uma metodologia de ensaio de resistência ao cisalhamento para avaliação da aderência de interfaces revestimento metálico-bainha de cimento aplicada a poços de petróleo,** 2007, Dissertação (mestre em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Brasil, Natal, 2007.