

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS



IRANTÉCIO MENDONÇA FERREIRA

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE DIATOMITA NA ESTABILIDADE E
PERMEABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCEOS ESPUMADOS
APLICADOS A POÇOS DE PETRÓLEO**

NATAL, RN
2012

IRANTÉCIO MENDONÇA FERREIRA

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE DIATOMITA NA ESTABILIDADE E
PERMEABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCEOS ESPUMADOS
APLICADOS A POÇOS DE PETRÓLEO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Eduardo Martinelli

Co-orientação: Profª. Dra. Dulce Maria de Araújo Melo.

NATAL, RN
2012

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Ferreira, Irantécio Mendonça.

Efeito da incorporação de diatomita na estabilidade e permeabilidade de compósitos cimentícios espumados aplicados a poços de petróleo /Irantécio Mendonça Ferreira. – Natal, RN, 2012.

79f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Martinelli.

Co-orientadora: Profª. Dra. Dulce Maria de Araújo Melo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

1. Cimentação -Dissertação. 2.Permeabilidade - Dissertação. 3.Estabilidade - Dissertação. 4. Diatomita - Dissertação. 5. Incorporação de ar - Dissertação.I.Martinelli, Antônio Eduardo. II.Melo, Dulce Maria de Araújo. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 666

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

**EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE DIATOMITA NA ESTABILIDADE E
PERMEABILIDADE DE COMPÓSITOS CIMENTÍCEOS ESPUMADOS
APLICADOS A POÇOS DE PETRÓLEO**

IRANTÉCIO MENDONÇA FERREIRA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA
Especialidade: CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS, área de concentração Cerâmica e
linha de pesquisa Cerâmica estrutural.
**Sendo aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais.**

Prof. Dr. Antonio Eduardo Martinelli – Orientador
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Eduardo Martinelli
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Prof. Dra. Dulce Maria de Araújo Melo – Co-orientadora
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Profa. Dra. Maria Luiza Lopes de Oliveira Santos
Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Prof. Dr. Julio Cezar de Oliveira Freitas
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Natal/RN, ____ de _____ de 2012.

Dedico este trabalho a Deus, pelas coisas maravilhosas que tem feito. Louvada seja sua imensa grandeza; Aos meus pais, Irani e Técia, pelos preciosos ensinamentos concedidos; Aos meus irmãos, Isaac e Ana Marina, pelo apoio e compreensão em relação aos meus estudos; À minha filha Ingrid; A todos que foram fundamentais para meu crescimento pessoal, profissional e acadêmico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois, na minha angústia clamei ao Senhor e Ele me ouviu.

Ao meu pai, Irani Dantas Ferreira, eterno estudante, educador e orientador dos meus caminhos.

Obrigado pelo amor e incentivo em todos os momentos da minha vida.

À minha mãe, Técia Maria Mendonça Ferreira, com seu jeito simples e cativante sempre conquistou amigos, familiares e filhos, incentivando-me através do eterno carinho e amor incondicional.

Aos meus irmãos Isaac Terciano e Ana Marina, pelos filhos obedientes que sempre foram para com nossos pais e pela forma carinhosa com que sempre me trataram.

À minha filha, Ingrid Mendes Ferreira, uma das bênçãos de Deus na minha vida.

A toda a minha família, pelas orações, carinho e incentivo ao longo da minha vida. Vocês foram fundamentais para a realização de mais um grande objetivo em minha vida.

Ao professor Antonio Eduardo Martinelli, pela orientação em todas as etapas deste projeto, pela convivência, ensinamentos de vida, aprendizado, amizade e a confiança depositada na minha pessoa.

Aos professores Marcus Antonio F. de Melo e Dulce Maria de Araújo Melo, pelas sugestões e apoio durante a realização deste projeto.

Ao Engenheiro de Petróleo e, acima de tudo, amigo, Marco Antonio B. de Lima, pela disponibilidade em trocar e discutir ideias.

A Júlio, pelo ensino dos ensaios e pelas oportunidades de discussão de aspectos relevantes do trabalho.

Ao Laboratório de Cimentos (LABCIM) da UFRN.

À Agência Nacional de Petróleo - ANP, em especial ao PRH 30.

Enfim, a todas as pessoas que não foram citadas, mas contribuíram significativamente para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine.

E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.

E ainda que distribuisse toda a minha fortuna para sustento dos pobres, e ainda que entregasse o meu corpo para ser queimado, e não tivesse amor, nada disso me aproveitaria. O amor é sofredor, é benigno; o amor não é invejoso; o amor não trata com leviandade, não se ensoberbece. Não se porta com indecência, não busca os seus interesses, não se irrita, não suspeita mal;

Não folga com a injustiça, mas folga com a verdade; Tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta.

(I Coríntios,13; 1-7)

RESUMO

Atualmente, busca-se a formulação de pastas de cimento leves para prevenir o fraturamento de formações de baixa resistência ou depletadas e combater a perda de circulação, com boa aderência e isolamento hidráulico entre cimento e meio poroso. O cimento espumado composto pela mistura de cimento com incorporador de ar é um material alternativo para essa aplicação. A perda de pressão hidrostática durante o processo de hidratação causa expansão das bolhas de gás, mantendo o grau de contato cimento-meio poroso, diferentemente do que ocorre apenas com o uso do cimento tradicional. A aderência entre o cimento e o meio poroso (formação rochosa) faz com que haja estabilidade da pasta, impedindo a perda de água do cimento no estado fresco para o meio. O presente trabalho tem como objetivo estudar a estabilidade e a permeabilidade de compósitos cimentícios contendo diatomita (carga leve) e incorporador de ar, verificando se o uso desses aditivos é viável para cimentos projetados para ambientes de baixo gradiente de fratura. A metodologia empregada no trabalho consiste na preparação e avaliação de pastas compósitas, por meio de procedimentos adotados pelo American Petroleum Institute e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. Partiu-se de uma dosagem fixa do incorporador de ar e variou-se a concentração de diatomita. As densidades calculadas foram 13,0 lb/gal, 14,0 lb/gal e 15,0 lb/gal, com o intuito de observar a contribuição do fator água/cimento na estabilização das espumas geradas pela adição do incorporador de ar em relação a uma pasta padrão, sem incorporador de ar. Os resultados revelaram que as pastas tiveram suas densidades reduzidas entre 15% e 25%, com a adição do incorporador de ar e diatomita e boa resistência mecânica. O aumento da viscosidade nas formulações com diatomita proporcionou maior retenção das bolhas, visto que houve redução acentuada da migração de ar para a superfície do cimento durante cura em repouso. Observou-se que pastas estáveis apresentaram variação entre o valor de densidade de fundo e topo de 0,96 lb/gal e rebaixamento de topo de 5,86 mm, além de baixos coeficientes de permeabilidade (0,617 mD a 0,406 mD). Concluiu-se que é possível formular pastas cimentícias espumadas de baixa densidade com propriedades mecânicas e reológicas satisfatórias, além de boa estabilidade e baixa permeabilidade, a partir de uma combinação de cimento, diatomita e incorporador de ar. Os materiais resultantes são adequados visando à cimentação de poços de petróleo com formações de baixa resistência ou depletadas.

Palavras-chave: Cimentação, Permeabilidade, Estabilidade, Diatomita, Incorporador de ar.

ABSTRACT

Lightweight oilwell cement slurries have been recently studied as a mean to improve zonal isolation and sheath-porous formation adherence. Foamed slurries consisting of Portland cement and air-entraining admixtures have become an interesting option for this application. The loss in hydrostatic pressure as a consequence of cement hydration results in the expansion of the air bubbles entrapped in the cement matrix, thus improving the sheath-porous formation contact. Consequently, slurries are able to better retain their water to complete the hydration process. The main objective of the present study was to evaluate the effect of the addition of an air-entraining admixture on the density, stability and permeability of composite slurries containing Portland cement and diatomite as light mineral load. Successful formulations are potential cementing materials for low fracture gradient oilwells. The experimental procedures used for slurry preparation and characterization were based on the American Petroleum Institute and ABNT guidelines. Slurries containing a pre-established concentration of the air-entraining admixture and different contents of diatomite were prepared aiming at final densities of 13 to 15 lb/gal. The results revealed that the reduction of 15 to 25% of the density of the slurries did not significantly affect their strength. The addition of both diatomite and the air-entraining admixture increased the viscosity of the slurry providing better air-bubble retention in the volume of the slurry. Stable slurries depicted bottom to top density variation of less than 1.0 lb/gal and length reduction of the stability sample of 5.86 mm. Finally, permeability coefficient values between 0.617 and 0.406 mD were obtained. Therefore, lightweight oilwell cement slurries depicting a satisfactory set of physicochemical and mechanical properties can be formulated using a combination of diatomite and air-entraining admixtures for low fracture gradient oilwells.

Keywords: Cementing, Permeability, Stability, Diatomite, Air-entraining admixture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do aparelho utilizado por Darcy	22
Figura 2 – Fluxo Radial Horizontal.....	23
Figura 3 – Esquema de funcionamento do permeabilímetro	27
Figura 4 – Resposta global das reações químicas que envolvem a hidratação do cimento.....	29
Figura 5 – Representação da cimentação de um poço.....	31
Figura 6 – Representação do Incorporador de ar.....	36
Figura 7 – Fluxograma ilustrando a preparação e os ensaios realizados.....	43
Figura 8 – Tubo decantador.....	47
Figura 9 – Seccionamento da amostra de cimento curada: Topo (I); Intermediários (II) e (III); Fundo (IV).....	48
Figura 10 – Permeabilímetro Ultra Perm 500, Core Lab	49
Figura 11 – Redução de densidade da pasta de referência com 13lb/gal.	53
Figura 12 – Redução de densidade da pasta de referência com 14 lb/gal.	54
Figura 13 – Redução de densidade da pasta de referência com 15 lb/gal.	55
Figura 14 – Resistência à compressão de pastas de cimento.....	56
Figura 15 – MEV da pasta com apenas Incorporador de Ar (composição A) com aumento de 45x	57
Figura 16 – MEV da pasta padrão (composição B) com aumento de 45x.....	58
Figura 17 – MEV de uma pasta com ar incorporado e diatomita (composição A3*).....	59
Figura 18 – Ilustração da carapaça de alga diatomácea fossilizada	60
Figura 19 – Variação da resistência à compressão com a redução de densidade.....	60
Figura 20 – Variação da resistência à compressão com a viscosidade	61
Figura 21 – Variação da densidade das pastas que partiram de uma pasta padrão 14 lb/gal.	64
Figura 22 – Variação da densidade das pastas que partiram de uma pasta padrão 15 lb/gal.	65
Figura 23 – Rebaixamento do topo das pastas que partiram de uma pasta padrão 14 lb/gal.	66
Figura 24 – Rebaixamento do topo das pastas que partiram de uma pasta padrão 15 lb/gal.	66
Figura 25 – Permeabilidade das pastas que partiram de uma pasta padrão 14 lb/gal	68
Figura 26 – Permeabilidade das pastas que partiram de uma pasta padrão 15 lb/gal	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estendedores típicos	34
Tabela 2 – Composições das pastas com densidade de partida 13 lb/gal.....	42
Tabela 3 – Composições das pastas com densidade de partida 14 lb/gal.....	42
Tabela 4 – Composições das pastas com densidade de partida 15 lb/gal.....	42
Tabela 5 – Estabilidade das pastas com densidade de partida 14 lb/gal.....	62
Tabela 6 – Estabilidade das pastas com densidade de partida 15 lb/gal.....	63
Tabela 7 – Permeabilidade das pastas que partiram de uma pasta padrão 14 lb/gal.	67
Tabela 8 – Permeabilidade das pastas que partiram de uma pasta padrão 15 lb/gal.	68

CONVERSÕES DE UNIDADES PARA O SI

Unidade	Sistema Inglês	Sistema Internacional
Peso específico	1 lb/gal	$1,198 \times 10^{-1} \text{ g/cm}^3$
Pressão	1 lbf/100pé ²	$4,788 \times 10^{-1} \text{ Pa}$
Pressão	1 psi	$6,895 \times 10^3 \text{ Pa}$
Viscosidade	1 Cp	$1,000 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
Volume	1 gal	$3,785 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
Volume	1 pé ³	$2,831 \times 10^{-2} \text{ m}^3$

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 PRESSÃO DA FORMAÇÃO.....	18
2.2 PRESSÃO DE FRATURA.....	19
2.3 GRADIENTE DE FRATURA E DE POROS DAS FORMAÇÕES.....	20
2.4 PERMEABILIDADE.....	21
2.4.1 Fluxo do fluido no meio poroso.....	21
2.4.2 Permeabilidade da pasta de cimento.....	25
2.5 CIMENTO PORTLAND.....	27
2.5.1 Tipos de Cimento Portland.....	28
2.5.2 Hidratação da pasta de cimento.....	28
2.5.3 Tempo de pega.....	30
2.6 CIMENTAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS.....	30
2.6.1 Cimentação primária.....	31
2.6.2 Cimentação secundária.....	32
2.6.3 Pasta de cimento espumada.....	32
2.7 ADITIVOS NAS PASTAS CIMENTADAS.....	33
2.7.1 Estendedores.....	33
2.7.2 Controladores de filtrado.....	34
2.8 INCORPORADOR DE AR.....	35
2.9 DIATOMITA.....	37
2.9.1 Diatomita com relação ao cimento.....	38
3 METODOLOGIA.....	41

3.1 TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS PASTAS	43
3.1.1 Mistura das pastas.....	43
3.1.2 Homogeneização das pastas	44
3.1.3 Ensaio reológico	44
3.1.4 Ensaio de resistência à compressão	45
3.1.5 Ensaio do peso específico	46
3.1.6 Estabilidade.....	46
3.1.7 Ensaio de Permeabilidade.....	49
3.1.8 MEV	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1 DENSIDADE	53
4.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MEV	56
4.3 REOLOGIA	61
4.4 ESTABILIDADE	62
4.5 PERMEABILIDADE.....	67
CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS	76

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Nas etapas iniciais do projeto dos fluidos, alguns itens como: a definição da temperatura de circulação, a escolha de aditivos adequados, tanto do ponto de vista ambiental e de resistência às condições de temperatura e pressão estimadas para aplicação; o conhecimento geológico suficiente para se prever as pressões, permeabilidade, porosidade, tipo de formações atravessadas; a característica do poço, considerando ainda informações de geometria das colunas de trabalho e revestimentos, informações de inclinações e direção permitem que sejam definidas as densidades, controle de filtrado, estabilidade e água livre impeditivas da segregação de sólidos dos fluidos envolvidos, tempo de espessamento e desenvolvimento da resistência à compressão da pasta adequados à aplicação.

Um dos pontos centrais do sucesso de uma cimentação é a manutenção de pressão hidrostática que não exceda a pressão de fratura da formação. Quando a pressão exercida pelos fluidos ultrapassa o gradiente de fratura de uma dada formação, perdas de circulação ocorrem. A ocorrência de perdas de circulação durante o deslocamento da pasta de cimento pode gerar uma variedade de eventos indesejáveis. Dentre as possíveis consequências, podemos citar: falta de isolamento entre zonas, fechamento do anular e subsequente restrições ao fluxo e falhas catastróficas da operação de cimentação. Consequentemente, considerações relativas à pressão são geralmente necessárias quando do uso de pastas leves de cimento (CAMPOS *et al.*, 2002).

As pastas espumadas apresentam baixa densidade, propriedades reológicas e mecânicas satisfatórias para operações de cimentação de poços de petróleo. Reduções de custo nessas operações podem ser obtidas com a diminuição do consumo de cimento, além de possuírem variadas aplicações como combate à perda, formações fracas e formações depletadas (FERREIRA, 2009). Dessa forma, as pastas espumadas apresentam vantagens que podem trazer soluções de segurança e custo para um projeto de poço, tendo em vista que as pastas espumadas constituem uma das soluções mais usadas na indústria do petróleo, possuindo melhor aderência revestimento-cimento-formação, melhor isolamento hidráulico, reduz a criação de microanular por fluxo de gás, sendo, ainda, excelentes para cimentações de poços de injeção de vapor, devido a suas elevadas porosidades e baixa permeabilidade.

Cimentações com pastas espumadas diferem das convencionais em um aspecto importante: mudanças volumétricas e de densidade dentro do fluido devido à presença da fase gasosa, já que as propriedades do fluido são agora dependentes da temperatura e da pressão de um determinado ponto da coluna de cimento.

A diatomita é um mineral de origem sedimentar que ocorre em zonas de formação lacustre ou marinha, constituída a partir do acúmulo de carapaças de algas diatomáceas que foram se fossilizando desde a época pré-cambriana, por meio dos depósitos de sílica sobre sua estrutura. Já os aditivos incorporadores de ar, são produtos químicos tensoativos que possibilitam a redução da tensão ar/água e a dispersão dos finos e têm a função de introduzir pequenas bolhas de ar à pasta, contribuindo assim para redução do peso específico das pastas formuladas.

Esses aditivos leves (diatomita e incorporador de ar) aumentam a viscosidade da pasta, proporcionando uma maior retenção e estabilidade das bolhas, evitando uma comunicação entre os poros, contribuindo assim para a obtenção de uma baixa permeabilidade das pastas de cimento. Além disso, a diatomita age como estendedor pozolânico, diminuindo a quantidade de cimento utilizado na mistura e auxiliando na redução do peso específico da pasta.

O presente trabalho tem como objetivo estudar a estabilidade e a permeabilidade de pastas de cimento com aditivos leves (diatomita e incorporadores de ar), ou seja, compósitos cimentíceos, mostrando que o uso de pastas espumadas é tecnicamente viável para cimentação de poços de petróleo em ambientes de baixo gradiente de fratura, apresentando um custo compatível com outras soluções de cimentação.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. C219-02 Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement. In: **Annual Book of ASTM Standard**, Filadélfia, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9826: Preparação e homogeneização das pastas para ensaio do cimento portland destinado à cimentação de poços petrolíferos**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9828: Cimento portland destinado à cimentação de poços petrolíferos – determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9830: Cimento portland destinado à cimentação de poços petrolíferos – determinação das propriedades reológicas**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9831: Cimento portland destinado à cimentação de poços petrolíferos**. Rio de Janeiro, 1993.

AURÉLIO, Marco. **Noções de perfuração**: curso de fluidos de perfuração e completação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

BATISTA, C. M. Perfil analítico de diatomita. **Boletim DNPM**. Rio de Janeiro, DNPM v. 11, p. 2-7, 1973.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Volume 1, 5. ed. Cap 6. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BENSTED, J.A., Simple retarder response test for oil well cements at high temperatures. **Cement and Concrete Research**, v. 23, p. 1245, 1993.

BICUDO, C. E. M; BICUDO, R. M. T. **Algas de águas continentais brasileiras**. São Paulo: FUNBEC, 1970, p. 112.

BJ, Apostila de Cimentação, 2002.

BRITO, Roseane Aparecida de. Monografia (Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

CAMPOS, Gilson; SIMÃO, Cristina Aiex.; TEIXEIRA, Kleber de Carvalho; CONCEIÇÃO, Antonio Carlos Farias. **Curso básico sobre cimentação primária** (apostila), 2002.

Completação de poços para supervisores de sonda e sondadores (apostila) do ATP-N, 2005. DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral do Brasil**, 2002.

F. M., LEA. The chemistry of cement and concrete. **Chemical Publishing Company**. New York: Inc, 1971, p. 596.

FERREIRA, I. M.; LIMA, M. A. B.; MARTINELLI, A. E. **Formulação de pastas cimentantes com adição de aditivos leves para cimentação com flexitubo**. [Poster]. PDPETRO, 5., Fortaleza, 2009.

FERREIRA, I. M.; LIMA, M. A. B.; MARTINELLI, A.E.; MELO, D.M.A.; MELO, M.A.F. **Light slurries for coiled tubing oilwell cementing**. [Poster]. ICAM, Rio de Janeiro, setembro, 2009.

FERREIRA, I. M.; LIMA, M. A. B.; MARTINELLI, A. E.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F. **Light oilwell slurries containing air entrainment admixtures**. [Poster]. ENCONTRO DA SBPMAT, 9, Ouro Preto, outubro, 2010.

FERREIRA, I. M.; LIMA, M. A. B.; MARTINELLI, A. E.; MELO, D. M. A.; MELO, M. A. F. **Efeito da adição de incorporadores de ar na hidratação de cimento portland em contato com meios porosos**. Poster. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 19., Campos do Jordão, novembro, 2010.

FERREIRA, Irantécio Mendonça. **Formulação de pastas cimentantes com adição de aditivos leves para cimentação com flexitubo**. Monografia (Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

KULAKOFSKY, D; Araújo, O; and Self, F; Mora, A; Hendriks, P and Mestre, P; Petroleum Development, Oman. New ultra-lightweight cementing technology proven with case studies, combines benefits of current leading methodologies. SPE 92970-MS – 2005.

KULAKOFSKY, D; VARGO, R. **New technology for the delivery of beaded lightweight cements**. SPE 945941-MS – 2005.

LIMA, Flank Melo de. **Desenvolvimento de cimentos do tipo portland/materiais alternativos para cimentações de poços de petróleo**. Monografia (Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

LIMA, Ricardo Eugênio de Moraes. **Simulador de dano à formação, aplicado ao projeto e à execução da perfuração de poços de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

Manual de Controle de Poço (Well Control). Realizado pela MAPLO em Macaé-RJ, 2011.

- MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- MORO, S.L. Propriedades de diatomitos brasileiros. Dissertação (Mestrado) – EPUSP, São Paulo, 1977.
- NASCIMENTO, José Heriberto Oliveira do. **Adição de poliuretana não iônica a cimento portland especial para cimentação de poços de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- NELSON, E.B. **Well cementing, Saint-Etienne**: Schulumberger Educational Services, 1990.
- NEVILLE, A. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.
- OLIVEIRA, V. C. C. **Análise de segurança em operações marítimas de exploração e produção de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia do Petróleo) – Universidade de Campinas, Campinas, 2004.
- Pelipenko, S.; Frigaard, I.A., Mud removal and cement placement during primary cementing of an oil well. **Journal of Engineering Mathematics**, v. 48, p.1-26, 2004.
- PELIZZETTI, E.; PRAMAURO, E. Analytical applications of organized molecular assemblies. **Analytica Chimica Acta**, v. 169, 1-29, 1985.
- PROCIM – **Manual de procedimentos do laboratório de cimentos da UFRN**. Natal, 2008.
- ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T., **Projeto de poços de petróleo: geopressões e assentamentos de colunas de revestimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciencia; Petrobras, 2009.
- RODRIGUES, Valdo F.; VICENTE, Ronaldo. **Operações com cimento na área da completação** (apostila), 1991.
- SOUZA, J. F. Perfil analítico da diatomita. **Boletim n. 11**, Rio de Janeiro, Departamento Nacional de Produção Mineral (DMPM), 1973.
- TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. 2. ed. London: Academic Press, 1997.
- THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo** - Petrobras. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.
- VLACHOU, P. V.; Piau, J. M. The influence of the shear field on the microstructural and chemical evolution of na oil well cement slurry and its rheometric impact. **Cement and Concrete Research**, v. 27, p. 869, 1997.

Referências

WEEST, C. C.; HARWELL, J. H. Surfactans and subsurface remediation. **Environmental Science and Technology**, v. 26, p. 2324-2330, 1992.