



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

ADRIANA FAGUNDES SALES

**ACOMPANHAMENTO E EXECUÇÃO DE PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS  
PARA REALIZAÇÃO DE TESTES EM PASTAS DE CIMENTO DE POÇOS DE  
PETRÓLEO NO NTCPP/UFRN**

MOSSORÓ-RN  
2015

ADRIANA FAGUNDES SALES

**ACOMPANHAMENTO E EXECUÇÃO DE PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS  
PARA REALIZAÇÃO DE TESTES EM PASTAS DE CIMENTO DE POÇOS DE  
PETRÓLEO NO NTCPP/UFRN**

Trabalho de final de graduação apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Petróleo.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo César Santiago – UFERSA.

MOSSORÓ-RN  
2015

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)**

**Setor de Informação e Referência**

**S163a Sales, Adriana Fagundes**

Acompanhamento e execução de procedimentos laboratoriais para realização de testes em pastas de cimento de poços de petróleo no Ntcpp/Ufrn / Adriana Fagundes Sales -- Mossoró, 2015.

42f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo César Santiago

Monografia (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Poço de petróleo. 2. Cimentação. 3. Pasta de Cimento.  
I. Título.

RN/UFERSA/BCOT/227-15  
622.3382

CDD:

Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa

CRB-15/453

ADRIANA FAGUNDES SALES

**ACOMPANHAMENTO E EXECUÇÃO DE PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS  
PARA REALIZAÇÃO DE TESTES EM PASTAS DE CIMENTO DE POÇOS DE  
PETRÓLEO NO NTCPP/UFRN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
a Universidade Federal do Semi-Árido ao  
Departamento de Ciências Ambientais e  
Tecnológicas para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Petróleo.

APROVADA EM: 29/01/2015

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rodrigo César Santiago  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dr. Jaridel Dantas da Cunha  
Membro

  
\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Blake Charles Diniz  
Membro

Dedico este trabalho de conclusão de curso, a Deus por sempre estar ao meu lado e aos meus pais e meu irmão que sempre torceram por mim. A todos os meus familiares e meus amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço Deus, pelo amor incondicional, misericórdia e bondade, a Ele toda honra, glória e louvor. Pois sem sua ajuda, sua direção e seu agir na minha vida não teria chegado até aqui, dando saúde, sabedoria, força e perseverança para alcançar esta vitória na minha vida;

Agradeço meus pais: Antonio Pereira Sales e Antonia Fagundes Sales, que são meus amores e agradeço a Deus por ser filha deles, pois me apoiam e passam confiança. Ao meu irmão Alexandre Fagundes Sales que sempre acreditou em mim, apoiando e me incentivando e aos demais familiares, sem eles dificilmente conseguiria chegar até aqui;

Ao professor orientador Dr. Rodrigo César Santiago pela paciência, o apoio e ajuda na construção deste trabalho, mostrando-se sempre responsável e dedicado;

E aos demais professores pela paciência de ter me ensinado muitas coisas que aprendi em sala de aula, que foram de muita valia para minha formação profissional e, principalmente ao professor Dr. Júlio Cezar de Oliveira Freitas (Coordenador de Projetos do NTCPP), Paulo Henrique Silva Santos (Supervisor do NTCPP) e demais técnicos do laboratórios por abrirem as portas para realização do estágio, ensinando a mim com suas experiências;

Obrigada aos meus amigos de sempre. Obrigada aos meus amigos que fiz nesta instituição, pelos bons momentos e partilhas feitas em salas de aula e fora delas.

"Nada te perturbe, Nada te espante, Tudo passa, Deus não muda, A paciência tudo alcança; Quem a Deus tem, Nada lhe falta: Só Deus basta."

(Santa Tereza D'Ávila)

## **RESUMO**

A cimentação consiste em uma etapa muito importante na construção de poços de petróleo e pode ser classificada em cimentação primária e secundária. A primeira está ligada à operação realizada logo após a descida do revestimento metálico da fase perfurada, já a cimentação secundária exerce papel de uma operação emergencial, para sanar algum problema ocorrido na cimentação primária ou para operações de tamponamento ou auxiliar em desvio de poços. A função principal da cimentação é realizar o isolamento hidráulico do poço, protegendo o revestimento e dando suporte mecânico necessário para as operações seguintes. Para que uma operação de cimentação seja bem sucedida, é necessário o desenvolvimento de uma formulação adequada de acordo com a característica de cada poço, considerando diversos parâmetros, como temperatura, pressão, profundidade, formação geológica, entre outros, e para atender a essas exigências, a pasta de cimento deve ser preparada e testada seguindo normas e padrões internacionais que asseguram a sua aplicabilidade. Com base nisto, este trabalho se trata do acompanhamento, no período de estágio, da elaboração da formulação, preparo e testes de pastas de cimentos destinadas a cimentação de poços petrolíferos realizado no Núcleo Tecnológico de Cimentação de Poços de Petróleo (NTCPP) localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**Palavras-chave:** Cimentação. Laboratório. NTCPP. Pastas de cimento.



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Poço de Petróleo.....                                      | 18 |
| Figura 2 – Case e perfuração .....                                    | 19 |
| Figura 3 – Esquema dos equipamentos básicos de cimentação.....        | 20 |
| Figura 4 – Tampão de Cimento .....                                    | 21 |
| Figura 5 – Fluxograma de Fabricação de Cimento.....                   | 23 |
| Figura 6: Alguns dos materiais que compõem o cimento. ....            | 23 |
| Figura 7 – Jarra do Misturador e balança .....                        | 30 |
| Figura 8 – Vidro de relógio .....                                     | 31 |
| Figura 9 – Misturador de Palheta, com controlador de velocidade ..... | 31 |
| Figura 10 – Balança digital e balde de medição de sólidos.....        | 32 |
| Figura 11 – Consistômetro Atmosférico e componentes da célula .....   | 33 |
| Figura 12– Viscosímetro Rotativo.....                                 | 34 |
| Figura 13– Filtro Prensa .....                                        | 35 |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Composição do Cimento .....                        | 22 |
| Quadro 2 – Classificação do cimento de acordo com o uso ..... | 24 |

## **LISTA DE SIGLAS**

API – American Petroleum Institute;

BHST – Temperatura Estática de Fundo de Poço;

BHCT – Temperatura de Circulação de Fundo de Poço;

BHSqT – Temperatura de Circulação para Compressão de Cimento;

DRX – Difração de raios-X;

FRX – Espectrometria de Fluorescência de raios-X;

LabCim – Laboratório de Cimentação de Poços de Petróleo;

MEV – Microscópio Eletrônico de Varredura;

NTCPP – Núcleo Tecnológico em Cimentação de Poços de Petróleo;

PROCELAB – Procedimentos e Métodos de Laboratório destinados à Cimentação de Poços Petrolíferos;

t – tempo;

UCA – Ultrasonic Cement Analyser;

## SUMÁRIO

|          |                                                                                      |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                              | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>                                                               | <b>14</b> |
| 2.1      | OBJETIVO GERAL .....                                                                 | 14        |
| 2.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                           | 14        |
| <b>3</b> | <b>REFERENCIAL TEORICO .....</b>                                                     | <b>15</b> |
| 3.1      | NÚCLEO TECNOLÓGICO DE CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO – NTCPP/UFRN.....              | 15        |
| 3.2      | CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO .....                                                | 18        |
| 3.2.1    | Cimentação Primária .....                                                            | 18        |
| 3.2.2    | Cimentação Secundária.....                                                           | 20        |
| 3.3      | CIMENTO PORTLAND .....                                                               | 21        |
| 3.3.1    | Composição Química .....                                                             | 21        |
| 3.4      | ADITIVOS.....                                                                        | 25        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                                      | <b>27</b> |
| <b>5</b> | <b>EXPERIMENTAL .....</b>                                                            | <b>28</b> |
| 5.1.1    | Definições Básicas .....                                                             | 29        |
| 5.1.2    | Separação dos materiais e componentes utilizados para preparação da pasta de cimento | 29        |
| 5.1.3    | Pesagem e Mistura dos Componentes Líquidos.....                                      | 30        |
| 5.1.4    | Pesagem e Mistura dos Componentes Sólidos.....                                       | 30        |
| 5.1.5    | Homogeneização da Pasta de cimento .....                                             | 32        |
| 5.1.6    | Testes.....                                                                          | 33        |
| 5.1.6.1  | Reologia.....                                                                        | 33        |
| 5.1.6.2  | Filtrado.....                                                                        | 34        |

|          |                                         |           |
|----------|-----------------------------------------|-----------|
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>        | <b>36</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>37</b> |
|          | <b>ANEXO I .....</b>                    | <b>39</b> |
|          | <b>ANEXO II.....</b>                    | <b>40</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A cimentação de poços de petróleo consiste na etapa após assentamento da sapata de revestimento com finalidade de preenchimento do anular, lançar pasta de cimento pela própria coluna de revestimento deslocando-a para o espaço anular até a superfície, precisa aguardar o tempo de pega do cimento para iniciação de nova fase de perfuração do poço. A cimentação faz-se necessário para que ocorra de forma eficaz e eficiente o isolamento da zona de interesse, estabilização da formação e evitar custos de uma nova intervenção.

“A produtividade de um poço petrolífero é bastante afetada pela qualidade cimenting. O trabalho de cimentação em um poço petrolífero consiste em bombear pasta de cimento no poço com propriedades físicas e químicas adequadas que permite o seu deslocamento através do revestimento para o interior do poço.” (GANDELMAN, *et al*, 2004)

O cimento utilizado para confecção da pasta de cimento é o cimento Portland, com características especiais, dependendo das condições do poço.

Para preparação da pasta além do cimento e da água é adicionado aditivos com finalidades de acelerar ou retardar a pega, adensantes, dispersantes ou controladores de filtrado.

A indústria do petróleo classifica a cimentação em dois tipos gerais: em cimentação primária e em cimentação secundária.

A cimentação primária consiste na cimentação após descida do revestimento, com objetivos: preencher o espaço que existe entre o revestimento assentado e a parede do poço, sendo assim, promove a aderência entre a parede externa do revestimento e a formação; isolar a formação impedindo a entrada de fluidos e perdas de circulação; fornecer suporte mecânico para o revestimento.

A cimentação secundária com finalidade de corrigir a cimentação primária, quando há necessidade de correção: corrigir canais formados por uma má cimentação primária; eliminação de influxo de água e ou gás selando canhoneios; abandono de zonas depletadas.

A cimentação também tem finalidade de tamponar o poço a ser abandonado de forma temporária ou definitiva.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo desse trabalho é descrever todas as atividades desenvolvidas no decorrer do estágio supervisionado no Núcleo de Cimentação de Poços de Petróleo (NTCPP), campus Natal da UFRN.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos são relacionados à execução de praticas e auxilio realizados no laboratório de Cimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- ✓ Aprender a formular pastas de cimento a serem utilizadas em poços de Petróleo.
- ✓ Aprender a utilizar de forma correta e prática os equipamentos que serão envolvidos no processo durante as atividades laboratoriais.
- ✓ Garantir a integridade e o bom funcionamento do laboratório.

### 3 REFERENCIAL TEORICO

#### 3.1 NÚCLEO TECNOLÓGICO DE CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO – NTCPP/UFRN

O Núcleo Tecnológico em Cimentação de Poços de Petróleo (NTCPP) é um núcleo de excelência regional, concebido através da coalizão interna entre o Centro de Ciências Exatas e da Terra (CCET) e o Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte e a coalizão externa com o CENPES/Petrobras. Este núcleo foi criado por um grupo de pesquisadores da UFRN e do CENPES/Petrobras focado na missão da universidade no seu modelo de gestão, com base na melhoria contínua do ensino, pesquisa e extensão, para atender a demanda científica, tecnológica e de recursos humanos do setor produtivo de óleo e gás do país e, sobretudo das regiões Norte e Nordeste.

Na graduação, contribui com o Instituto de Química (Química e Química de Petróleo), Departamentos de Engenharia de Petróleo, Engenharia Química e Engenharia de Materiais, na complementação prática das atividades profissionais dessas áreas com oportunidades de estágios, trabalhos de final de curso, aulas práticas, etc.

Na pós-graduação, atende aos programas de Química (PPGQ), Ciência e Engenharia de Petróleo (PPGCEP), Engenharia Química (PPGEQ), Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), no desenvolvimento de dissertações de mestrado e teses de doutorado, de caráter científico e tecnológico para atender as necessidades tecnológicas do setor de óleo e gás.

Na extensão, este núcleo transfere conhecimentos gerados nas empresas, indústrias e na sociedade em geral, através da participação em feiras, seminários, congressos, publicações científicas, relatórios técnicos e operadores na área de cimentação de poços de petróleo tanto para a Petrobras como para outras empresas do setor.

No desenvolvimento científico e tecnológico, após a identificação dos problemas pelo setor produtivo, este núcleo elabora projetos em parceria com as Empresas/FUNPEC; projetos estes que se iniciam em escala de laboratório até a aplicação no campo. Os projetos relacionados ao setor produtivo de óleo e gás geralmente vão do laboratório ao campo na busca de soluções eco ambientais e tecnológicas.

A missão e os objetivos e valores do NTCPP são de contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico no fortalecimento da cadeia produtiva de óleo e gás com ações voltadas aos produtos e processos, à qualidade, ao meio ambiente e à formação de



recursos humanos em todos os níveis, assumindo compromisso, ética, cooperação e imparcialidade.

- ✓ Planejar ações focadas na melhoria contínua do aluno, professor e externo;
- ✓ Promover o desenvolvimento científico e tecnológico na cimentação de poços;
- ✓ Participar do processo de normatização de pastas;
- ✓ Desenvolver novos aditivos de custo baixo;
- ✓ Realizar treinamento a nível técnico;
- ✓ Promover estágios curriculares e de iniciação científica;
- ✓ Atuar como organismo de certificação de pastas e aditivos;
- ✓ Aumentar a integração da cadeia produtiva do setor de cimentação;
- ✓ Atender a demanda da pós-graduação na formação de mestres e doutores do setor.

O NTCPP juntamente com o PROCELAB realizam atividades na área de óleo, gás e energia, são elas:

- ✓ Interlaboratorial CENPES e API
- ✓ Membro do grupo de revisão do PROCELAB/PETROBRAS
- ✓ Membro do grupo de elaboração e avaliação de normas para desempenho de aditivos químicos para cimentação de poços de petróleo
- ✓ Mais de 50 Bateladas de cimento especial especificadas-API
- ✓ Mais de 300 pastas formuladas
- ✓ Cimentação primária: Superfície até Produção de 5000m
- ✓ Squeeze: 500m até 4000 m
- ✓ Aproximadamente 100 testes de desempenho de aditivos
- ✓ Treinamento de operadores do SE e fiscais de sonda

Na área de Pesquisa e desenvolvimento tecnológico, o NTCPP ainda realiza:

- ✓ Desenvolvimento e caracterização de cimentos;
- ✓ Testes e desenvolvimento de aditivos para cimentação;
- ✓ Desenvolvimento de sistemas de pastas para condições especiais de poços;
- ✓ Ensaio mecânicos e de fratura;
- ✓ Estrutura dos materiais: microscopia e micro dureza;
- ✓ Estabilidade térmica e química dos aditivos e materiais;

- ✓ Análise granulométrica, química e cristalográfica;
- ✓ Análise microestrutural de pastas de cimento;
- ✓ Testes de contra prova (*on-shore* e *off-shore*);
- ✓ Testes de compatibilidade (cimento x colchão x fluido).

O NTCPP tem uma infraestrutura que presta serviços a várias empresas petrolíferas. Fornecendo a equipe especializada do laboratório e realizando pastas para poços de petróleo (cimentação primária, squeeze, tampões).

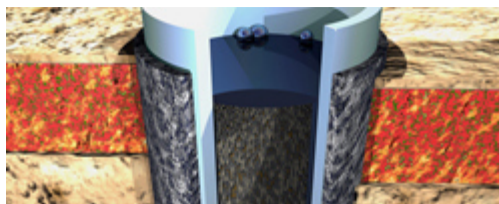
Conta, ainda, com infraestrutura para demais testes, como:

- ✓ Reologia BHST/BHCT/BHSqT;
- ✓ Tempo de espessamento;
- ✓ Aderência;
- ✓ Água livre;
- ✓ Resistência à compressão;
- ✓ Ataque ácido;
- ✓ Estabilidade;
- ✓ Peso Específico;
- ✓ Compatibilidade;
- ✓ Eficiência de Colchões;
- ✓ Teor de sílica em mistura seca;
- ✓ Filtrado e filtrado com agitação;
- ✓ Resistência à compressão (UCA);
- ✓ Resistência à compressão;
- ✓ Teste de retrogressão;
- ✓ Permeabilidade a gás;
- ✓ Migração de gás;
- ✓ DRX;
- ✓ FRX; e MEV

### 3.2 CIMENTAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

Cimentação é uma etapa crucial na construção de um poço de petróleo, sendo assim, é preciso certificar que esta operação foi bem feita, sendo necessária remoção máxima do fluido de perfuração na região do anular (se encontra entre a formação da rocha e a coluna de revestimento. Como demonstra a figura 1.

Figura 1 – Poço de Petróleo



**Fonte:** [http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt\\_BR/Oil-Gas\\_LA/3M-Oil-and-Gas/oil-and-gas-Solutions/upstream-oil-and-gas-exploration/upstream-oil-and-gas-drilling/](http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/Oil-Gas_LA/3M-Oil-and-Gas/oil-and-gas-Solutions/upstream-oil-and-gas-exploration/upstream-oil-and-gas-drilling/)

Para Lima (2006) apud Gouvea, (1994), “O material mais utilizado para cimentação de poços em geral é o cimento Portland. De fato, as excepcionais qualidades desse material possibilitam ao homem moderno promover mudanças expressivas em obras de engenharia, por exemplo, em cimentação de poços de petróleo.”

Este método consiste em deslocar o fluido de perfuração, a medida que vai lançando o cimento este vai deslocando o fluido e aderindo-se as paredes do poço e a coluna. Porém deve-se ter cuidado para evitar a contaminação do cimento pelo fluido, isto poderia acarretar a perda de algumas propriedades que são importantes para boa cimentação.

Com o tempo determinado vai ocorrendo a cura do cimento, este tempo é o necessário para o que vá adquirindo as propriedades mecânica como aderência, resistência a compressão e impermeabilidade.

A fim de evitar a contaminação da pasta de cimento pelo fluido escoam antes da pasta o chamado colchão lavrador, que são soluções de a base de água e detergentes, possuem importante papel, pois é uma solução intermediária entre o fluido de perfuração e a pasta de cimento.

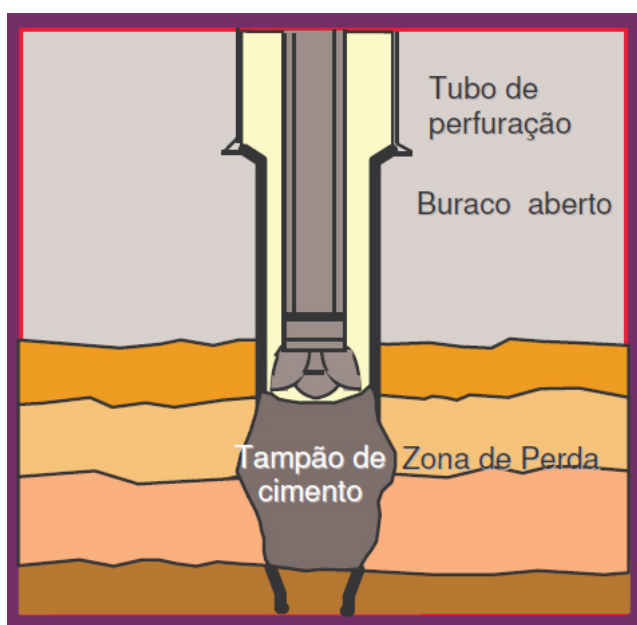
#### 3.2.1 Cimentação Primária

Os poços são perfurados em fases, dependente das condições da formação geológicas perfuradas, sendo assim, devendo ter conhecimento das pressões envolvidas em cada fase,

assim, aperfeiçoa a vazão de injeção do líquido, a capacidade de remoção dos sólidos, dimensionamento dos jatos da broca.

Segundo Alberto (2009), quando já atingida a profundidade planejada em cada fase, o poço esta completamente preenchido pelo fluido de perfuração, interior da coluna e anular, torna-se necessário remoção do fluido de perfuração e posteriormente a cimentação do anular (espaço entre a formação e a coluna de revestimento), com objetivo de garantir a estabilidade da formação, prevenindo infiltração de fluidos indesejáveis. Esta é a cimentação primária ou principal, que esta esquematizada na figura 2.

Figura 2 – Case e perfuração



**Fonte:** <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABM50AH/cimentacao-pocos-petroleo-slide>

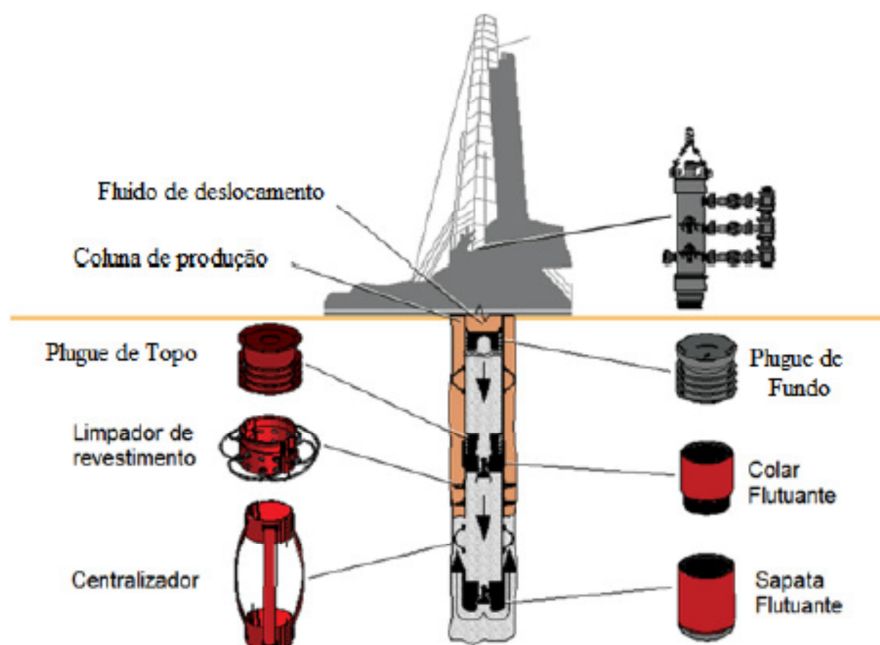
Para cimentar um poço primeiramente é lançado no poço os colchões lavadores, auxiliam na remoção do fluido de perfuração. Em seguida desce os espaçadores que tem objetivos de minimizar o contato entre os fluidos principais, consequentemente evitando a contaminação da pasta.

Após é bombeado a pasta de cimento para o poço, consiste na mistura de cimento, água e aditivos. Quando atingido o volume desejado, descem o tampão de topo (borracha rígida).

A cimentação termina quando o tampão de topo alcança o tampão de fundo, ocorrendo um aumento de pressão na superfície. Posterior a pega do cimento, uma coluna com a broca de perfuração é descida e para cortar os acessórios e iniciar a perfuração de uma

nova fase. A figura XX demonstra quando se inicia a perfuração da fase seguinte.

Figura 3 – Esquema dos equipamentos básicos de cimentação



**Fonte:** MITCHELL, *et al*, 2006

### 3.2.2 Cimentação Secundária

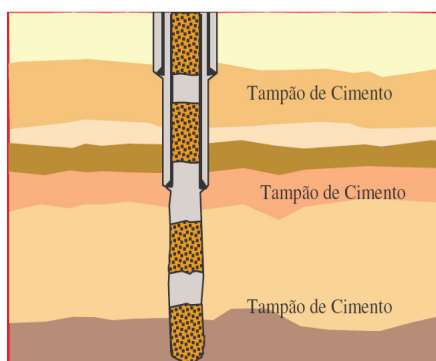
De acordo com Bezerra (2009), são todas as operações de cimentação que são executadas após a cimentação primária. Elas possuem várias finalidades, na maioria, correção de deficiências da cimentação primária.

A verificação de haver necessidade de uma cimentação secundária é através de análise de perfil ultrasônico. Este tipo de perfil demonstra graficamente falhas da cimentação primária.

Os tipos de cimentação secundária são: Tampões de cimento, recimentação, compressão de cimento.

Os tampões de cimento consistem em bombear a pasta somente no trecho de interesse, com finalidade de isolar alguma zona de interesse. A figura XX faz uma demonstração do tampão.

Figura 4 – Tampão de Cimento



**Fonte:** <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABM50AH/cimentacao-pocos-petroleo-slide>

A recimentação, operação de cimentação quando a primária não alcança a altura desejado no anular, faz-se necessário canhonear a zona de interesse.

Quanto a compressão de cimento ou Squeeze, quando injeta a pasta de cimento sob alta pressão, para corrigir uma falha, tamponar zonas canhoneadas.

### 3.3 CIMENTO PORTLAND

O material, conhecido dos antigos egípcios, ganhou o nome atual no século XIX graças à semelhança com as rochas da ilha britânica de Portland. (ABCP, 2014)

A palavra cimento é originada do latim *caementu*, que na antiga Roma designava uma espécie de pedra natural de rochedos não esquadrejada (quebrada). O produto é o componente básico do concreto, que é hoje o segundo material mais utilizado pelo homem, ficando somente atrás do elemento água (JUNIOR, et al, 2011 apud SNIC1, 2003).

O cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades. (ABCP, 2014)

Ele é um aglomerante pois tem a capacidade de se unir a outros materiais e hidráulico pois tem a capacidade de se hidratar, reagindo com a mistura e quando endurece possui características de uma rocha artificial.

#### 3.3.1 Composição Química

Composto basicamente por calcário, em torno de 85 a 95% durante a fabricação do clínquer, este é constituído de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), podendo conter impurezas como

magnésio, silício, alumínio e ferro. A Tabela 1 demonstrará estas porcentagens por cada componente.

Quadro 1 – Composição do Cimento

| Composto                       | Teor (%) |
|--------------------------------|----------|
| CaO                            | 95,27    |
| SiO <sub>2</sub>               | 1,37     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1,33     |
| MnO                            | 0,43     |
| SrO                            | 0,43     |
| ZnO                            | 0,05     |
| CuO                            | 0,03     |

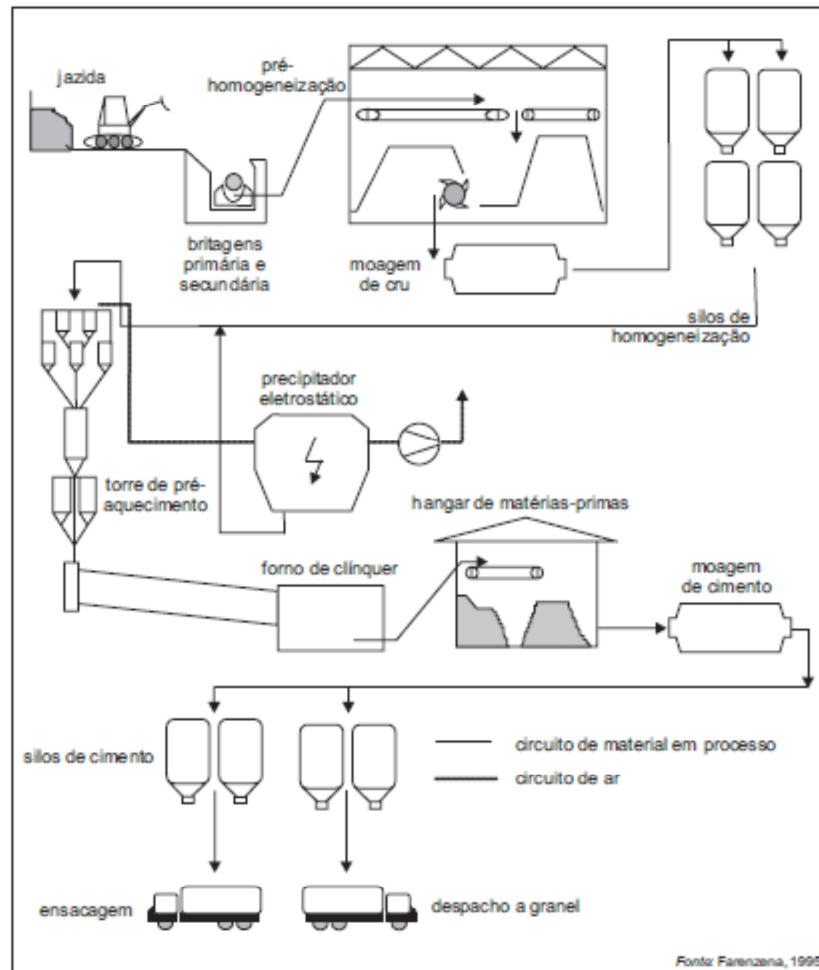
**Fonte:** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC

Com finalidade de melhorar a qualidade do clínquer são adicionados alguns materiais: filito (argila), quartzito (material arenoso).

Todos os materiais são expedidos para o moinho, em proporções pré-estabelecidas, onde se inicia o processo de mistura, secagem, homogeneização, formando o que chamam de farinha crua.

A farinha crua é enviada ao forno a uma temperatura em torno de 1450°C onde é calcinada, obtendo-se o clínquer. A figura 4 mostra o esquemático do processo da fabricação do cimento,

Figura 5 – Fluxograma de Fabricação de Cimento



**Fonte:** Farenza, 1995

Figura 6: Alguns dos materiais que compõem o cimento.



**Fonte:** <http://www.ceermin.demin.ufmg.br/monografias/34.PDF>



Propriedades se enquadram em processos artificialmente definidos nos métodos e especificações padronizados, oferecendo sua utilidade quer para o controle de aceitação do produto, quer para a avaliação de suas qualidades para os fins de utilização dos mesmos. (Siqueira, 2008)

Temos disponível no mercado de onze tipos de cimento Portland, esta variedade diz respeito com a finalidade do uso do cimento. São elas:

- CP I – Cimento portland comum
- CP I-S – Cimento portland comum com adição
- CP II-E – Cimento portland composto com escória
- CP II-Z – Cimento portland composto com pozolana
- CP II-F – Cimento portland composto com fíler
- CP III – Cimento portland de alto-forno
- CP IV – Cimento portland Pozolânico
- CP V-ARI – Cimento portland de alta resistência inicial
- RS – Cimento Portland Resistente a Sulfatos
- BC – Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação
- CPB – Cimento Portland Branco

Para a indústria petrolífera existe oito classes diferentes de cimento Portland, demonstrado na tabela 2, esta classificação normalizado Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), equivalência pela API (American Petroleum Institute), esta classificação modifica as composição química para se adequar as condições do poço como profundidade, pressão e temperatura, a tabela 2 mostra esta classificação.

Quadro 2 – Classificação do cimento de acordo com o uso

| Classe         | Profundidade                                    | Aplicação                                                                                                                                                           |
|----------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b>       | Em poços até 1830 m                             | Quando não são requeridas propriedades especiais                                                                                                                    |
| <b>B</b>       | Em poços até 1830 m                             | Quando é requerida alta resistência inicial, apresentando alta resistência aos sulfatos                                                                             |
| <b>C</b>       | Em poços até 1830 m                             | Quando é requerida alta resistência inicial, apresentando alta resistência aos sulfatos                                                                             |
| <b>D</b>       | Em poços de 1830m a 2050m                       | Quando a temperatura é moderadamente elevadas e altas pressões, apresentando alta resistência aos sulfatos                                                          |
| <b>E</b>       | Em poços de 1830m a 4270m                       | Quando a temperatura e a pressão são elevadas, apresentando alta resistência aos sulfatos                                                                           |
| <b>F</b>       | Em poços de 1830m a 4880m                       | Quando a temperatura e a pressão são elevadas, apresentando alta resistência aos sulfatos                                                                           |
| <b>G&amp;H</b> | Em poços até 2440m, <b>sem aditivos a pasta</b> | Possui composição compatível com aditivos aceleradores e retardadores de pega, sendo assim poderá ser utilizados em quase todas as condições das classes de A até E |
| <b>J</b>       | Em poços de 3660 a 4880m                        | Quando a temperatura e a pressão são extremamente elevadas                                                                                                          |

### 3.4 ADITIVOS

Para pasta de cimento utilizadas em poços de petróleo dificilmente são utilizadas sem aditivos, pois somente cimento e água não atenderia as condições de uma boa cimentação, necessitando, portanto correções antes de bombear a pasta. Com finalidade de melhor atender as condições do poço de petróleo, são acrescentados aditivos para formar a pasta, logo alcançando as condições do poço, consequentemente prolongando a vida útil de poço.

“Denominam-se aditivos os compostos químicos adicionados à pasta de cimento, argamassa e concretos visando a adequação às necessidades do poço.” (SOUZA, *et al*, 2013 apud Costa, 2004)

“Produtos que adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.” (NBR, 1992)

“No entanto, o poço apresenta ciclagens térmicas e esforços mecânicos e a bainha de cimento apresenta limitada resistência à tração e baixa capacidade de deformação elasto-plástica.” (SILVA, *et al*, 2011 apud Nelson, 1990).

As porcentagens de aditivos a ser acrescentada a pasta dependem das condições do poço, para isto, realizam-se testes no laboratório (será citado posteriormente). Existem aditivos tanto líquidos como sólidos, serão destacados abaixo somente os mais utilizados.

✓ Aceleradores de pega (Tipo A): Tem como finalidade de diminuir o tempo de pega e também de aumentara resistência inicial da pasta. Sendo o mais comum o Cloreto de Cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

✓ Retardadores de pega (Tipo R): Possui objetivos de aumentar o tempo de início e final de pega da pasta, ou melhor, mantendo a pasta fluida para poços que possuem altas temperatura e pressão, retardando o processo de hidratação. Fabricados a base de lignossulfonatos e derivados, ácidos orgânicos, derivados de celulose e derivados de glicose.

✓ Estendedores de pasta: Utilizados com proposito de aumentar o rendimento da pasta e ou reduzir sua densidade, como consequência pastas mais leves permite utilizá-la profundidades maiores, pois causam menor pressão hidroestática. Adicionando a argila (bentonita, atapulgita, etc) beneficio a absorção de água, assim mantem a pasta homogênea, sem separação de água. Pode-se também adicionar agregados de baixa densidade (pozolana, perlita, gilsonita) ou em casos especiais usar o nitrogênio para pastas extraordinariamente leves.

✓ Dispersantes ou redutores de fricção: Aprimora a reologia da pasta, assim melhora a vazão no bombeamento (reduz a viscosidade aparente da pasta), diminui as perdas de carga, melhor retirada do fluido de perfuração e diminuição de fraturar a formação.

✓ Controladores de filtrado: Visam evitar a perda de água precoce nas zonas permeáveis, o reboco, evitando danos a formação produtora. Este aditivo é sempre utilizado juntamente com dispersante, isto porque afeta o grau de dispersão.

✓ Outros: Existe outros aditivos que dependendo das condições do poço são acrescentados a pasta de cimento. Exemplos: controladores de perda de circulação, descontaminantes, traçadores radioativos, corantes, aditivos especiais (conter migração de gás).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia adotada neste trabalho está baseada no desenvolvimento de atividades no NTCPP, de acordo com as funções atribuídas ao estagiário, bem como a descrição dos procedimentos realizados.

- ✓ Foi dada ênfase no preparo e homogeneização de pastas, bem como alguns dos testes realizados para suas caracterizações, baseados nas normas API SPEC10 e NBR 9826.
- ✓ Acompanhamento de envio de dados para os clientes do laboratório.

## 5 EXPERIMENTAL

Este tópico destina-se a descrever os procedimentos para o preparo de pasta de cimento bem como os testes para atividade em poços de petróleo.

Garantir que o poço seja bem cimentado depende de vários itens, qualidade da pasta, condições do poço, desenvolvimento da equipe, entre outros pontos que a cada operação torna-se um desafio, mas antes de iniciar a operação propriamente dita é importante realizar testes de acordo com as condições do poço, simular em laboratório a pasta utilizada bem como os mesmos produtos. Considerando que a cimentação é uma das etapas fundamentais para o poço petrolífero, erros no processo podem prejudicar as condições do poço, causar danos ambientais e prejuízos, pois o custo com cimentação é bastante elevado (materiais utilizados, tempo de sonda, mão de obra). O NCTPP tem a função de verificar as propriedades da pasta a fim de evitar ou reduzir custos com recimentação, ou até mesmo outros tipos de correções relacionados com a pasta. Com compromisso de uma pasta de boa qualidade de acordo com o poço, o laboratório realiza vários testes para cimentação (acompanhamos pastas de *squeeze*) nos poços do Rio Grande do Norte, cliente Petrobras, no período de setembro de 2014.

De posse do programa do poço, condições de temperatura (ligada a hidratação da pasta evitando o aceleração ou retardamento da pega), profundidade, pressão, materiais, quantidades (água, cimento, aditivos líquidos e sólidos), eram realizadas a pesagem dos componentes e preparação da pasta.

A sequência de testes seguiam a homogeneização da pasta, geologia e filtrado (e outros não executados durante o estágio). Estes eram os testes iniciais que após analisados eram enviados para o responsável. Alguns testes não passando em qualquer um destes recebiam outro programa para o mesmo poço, com os mesmos produtos, porém que dosagens diferentes.

Para uma determinada preparação da pasta ideal de *squeeze* das condições do poço, fez-se necessário realizar até sete testes iniciais para atender as condições ideais de cimentação de *squeeze*, deve-se ao fato que não obtinha resultados favoráveis necessitando reformulação, ou melhor, mudanças de fator água/cimento e concentrações dos aditivos. Não alterava a quantidade da formulação final de 600 mL de pasta.

Os testes foram baseados no preparo de uma pasta destinada à cimentação secundária, mais especificamente relacionados a pasta destinada a uma operação de *Squeeze*,

*on-shore*, cujo cliente era Petrobrás. Por questões de sigilo, não serão fornecidos dados que identifiquem o poço em questão.

### **5.1.1 Definições Básicas**

- ✓ Água: doce ou salgada, livre de quaisquer aditivos;
- ✓ Mistura seca: mistura de cimento com outros componentes sólidos; e
- ✓ Água de Mistura: água como componente básico mais aditivos líquidos e ou sólidos.

### **5.1.2 Separação dos materiais e componentes utilizados para preparação da pasta de cimento**

Inicialmente, foram calculadas as quantidades dos componentes da pasta a ser formada. Este cálculo de componentes tem objetivos de atender as condições do poço (pasta de squeeze em poços terrestres com profundidades que não passava de 1000 metros e temperaturas que variavam de 70F a 97F), os componentes fornecido pelo cliente, pois a composição química do cimento bem como os aditivos terão que ser os mesmos produtos a ser utilizados na sonda, bem como o mesmo lote, assim mantem a fidelidade dos testes. O volume total a ser realizado de pasta é de 600 cm<sup>3</sup>.

Passada para a composição da pasta para a equipe, o próximo passo será separação dos equipamentos, vidraria e materiais para realizar todo processo de confecção e testes de pasta.

Os equipamentos e vidraria utilizados para o prepara da pasta são:

- ✓ Béqueres de 50, 100, 400 e 100 ml;
- ✓ Vidro de relógio;
- ✓ Espátula meia-cânula;
- ✓ Bastão de vidro de aproximadamente 20 cm por 0,6 cm;
- ✓ Seringa, pipeta ou frasco de dosador;
- ✓ Espátula ou colher para pesagem de cimento;
- ✓ Balde de aproximadamente 2 Kg para pesagem e mistura do cimento;
- ✓ Funil de colo curto;
- ✓ Balança digital;
- ✓ Misturador de palheta, modelo Waring Blendor, conforme controlador de velocidade para baixa de 4000 a 200 rpm e alta de 12000 a 500 rpm.

Antes de iniciar a separação e pesagem dos componentes é importante verificar as condições dos equipamentos como ver a estanqueidade da jarra do misturado, evitando perdas de material, tempo para o preparo e resultados dos testes. A figura X

### 5.1.3 Pesagem e Mistura dos Componentes Líquidos

Primeiramente pesa-se a água, utilizando a jarra do misturador, esta localiza-se na sob a balança digital, como esta demonstra na figura abaixo. Em seguida vai sendo adicionado os aditivos líquidos, um de cada vez, com auxílio de seringa ou pipeta ou frasco dosador. Após adicionar o aditivo é realizada mistura. Sendo assim, para cada aditivo, seguindo a ordem de mistura da composição, de forma que segui os procedimentos enviados pelo cliente.

Figura 7 – Jarra do Misturador e balança



**Fonte:** Autoria Própria (2014)

### 5.1.4 Pesagem e Mistura dos Componentes Sólidos

Para pesagem dos aditivos sólidos é realizado cada um separadamente em recipientes distintos, observando se estão secos e limpos. Utiliza-se vidro de relógio e com auxílio de espátula e pesa-os na balança digital.

Figura 8 – Vidro de relógio



**Fonte:** <http://teklab.com.br/MaisProduto.asp?Produto=520>

Já realizado a pesagem de cada componente, utilizando o agitador, figura 9, sendo misturados: a água e os aditivos líquidos. Os aditivos líquidos vão sendo adicionados, um a um, depois os demais aditivos sólidos, com auxílio de uma espátula, sob a rotação de aproximadamente 4000 rpm. Lembrando que todos os produtos são adicionados seguindo a ordem determinada pelo cliente no programa entregue ao laboratório.

Figura 9 – Misturador de Palheta, com controlador de velocidade

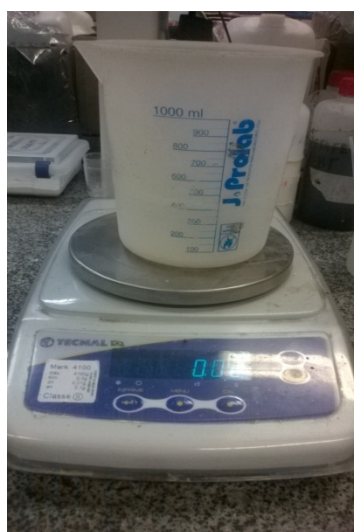


**Fonte:** Autoria Própria (2014)



O cimento e a sílica pesados e misturados, separadamente, como mostra a figura 11, só depois de misturados os outros produtos que estes vão sendo adicionados ao misturador, já com a água de mistura (a água juntamente com todos os aditivos) e com auxílio do funil vão sendo adicionados uniformemente na velocidade de aproximadamente 1000 rpm, em até 15s. Após esta primeira agitação, a pasta deve ser agitada em uma velocidade de 12000 rpm por um período de 35 segundos, finalizando a sua mistura (ou seu preparo).

Figura 10 – Balança digital e balde de medição de sólidos



Fonte: Autoria Própria (2014)

### 5.1.5 Homogeneização da Pasta de cimento

O Consistômetro Atmosférico é um instrumento usado em laboratório para homogeneizar a pasta antes de fazer realizar os testes. Consiste de um recipiente de aço para “banho maria”, onde encaixa a célula cilíndrica, que ficam girando. Na parte interna da célula contém uma palheta imersa na pasta de cimento, ela é responsável para transmitir o torque. Este equipamento contém aquecedor que é programado de acordo com as condições do poços (indicado no programa próprio do laboratório).

Figura 11 – Consistômetro Atmosférico e componentes da célula



Fonte: Autoria Própria (2014)

## 5.1.6 Testes

### 5.1.6.1 Reologia

Com objetivo de realizar de avaliar as propriedades reológicas da pasta, deformação da pasta sob aplicação de forças, como tensão de escoamento, viscosidade plástica e evolução da tensão de cisalhamento.

Teste apresenta como resultado a determinação da tensão de cisalhamento, a taxa de deformação, limite de escoamento e viscosidade plástica.

Utilizando viscosímetro rotativo, o teste é realizado de acordo com o Modelo Bingham é possível determinar a viscosidade plástica (VP), limite de escoamento (LE), Gel Inicial (Gi) e Gel Final (Gf).

Para realização necessita-se de cronômetro, termômetro e aparelho viscosímetro consiste em corpo, rotor e copo, devem esta limpo e já aquecido, temperatura determinada no pelo programa. Adiciona a pasta homogeneizada no copo do viscosímetro até a linha marcação, encaixa no corpo e inicia o teste. A instalação deve durar no máximo um minuto, ligar o aparelho na baixa rotação e efetuar a leitura após dez segundos, efetuar as demais leituras de forma crescente de rotação a cada dez segundos. Na ultima leitura, 300 rpm, aguarda dez segundos, e recomeça as leituras em ordem decrescente de rotação, rotação de 3 rpm. Realizada a ultima leitura, regula para rotação para 300 rpm e aguarda um minuto, desliga o aparelho e aguarda dez segundos, ajusta para 3 rpm. Liga o viscosímetro e a anota a deflexão máxima. Esta deflexão máxima é registrado como o Gel Inicial. Desliga novamente

o aparelho, desta vez por dez minutos, inicia a rotação, registra a deflexão máxima como Gel Final.

Com todas as leituras anotadas, temos que observar primeiramente se os valores do gel inicial que deve ser inferior a leitura final, passando neste teste os demais serão realizados. Caso não seja aprovado recomeça a preparação com nova formula para atender as condições do poço, se mesmo depois de várias reformulação não passe no teste, precisa passar para o cliente que provavelmente os aditivos não atendam as condições do poço solicitado.

Figura 12– Viscosímetro Rotativo



**Fonte:** Autoria Própria (2014)

#### 5.1.6.2 Filtrado

Com finalidade de estimar a perda de parte líquida para a formação, em condição estática. Coloca determinada quantidade de pasta no filtro-prensa API, através de elemento filtrante, sendo submetido a uma pressão de 1000 psi e temperatura determinada pelo programa, durante 30 minutos.

O aparelho é composto por um filtro Prensa BTAP, jaqueta de aquecimento, termômetro, cronometro, fonte de pressão, espátula, proveta graduada.

Figura 13– Filtro Prensa



**Fonte:** Autoria Própria (2014)

Antes de adicionar a pasta homogeneizada na célula do Filtro prensa, o equipamento é aquecido a temperatura determinada, de acordo com o poço.

Observa-se a válvula do compressor está fechada, adiciona a pasta na célula, fecha imediatamente conforme procedimento; fecha a válvula de saída do filtrado, acopla a mangueira de pressão e trava de segurança. Posiciona a proveta abaixo da saída do filtrado, abre a válvula do nitrogênio no topo da célula, pressão de 1000psi, aguarda 30 minutos.

Deve-se atentar se a pasta está desidratada (antes dos trinta minutos), se sim, pode-se encerrar o teste.

Após o término do teste, a válvula deve ser fechada da fonte de pressão e deve ser aberta a válvula de alívio para realização da desconexão do sistema.

Para análise deve-se verificar o volume de líquido na proveta graduada, no intervalo de 30 minutos sob pressão o volume não deve exceder 30 ml.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Acompanhar a rotina de trabalhos no laboratório de cimentação teve como finalidade preparação de pastas de cimento, bem como testes da pasta, com objetivo de atender as condições solicitadas pelo cliente de forma a garantir uma boa cimentação. Isto mostra o quanto é importante complementar com a prática teorias vistas em sala de aula, e a oportunidade de aplicar os conhecimentos adquiridos, além de poder aprender novos procedimentos, acompanhar professores e técnicos qualificados que atendem a necessidades do mercado atual.

Todos os objetivos foram alcançados no estágio e conhecimentos indispensáveis para formação do profissional do petróleo, como trabalho em equipe, organização e limpeza, análise e conhecimento de procedimentos laboratoriais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland#.VGkoOJRdWPo>> Acesso em: 16 nov. 2014

\_\_\_\_\_. **NBR 11768: Aditivos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992

\_\_\_\_\_. **NBR 9826: Preparação e homogeneização das pastas de cimento para ensaio de cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos**. Rio de Janeiro, 1993

\_\_\_\_\_. **NBR 9778: Argamassas e concretos endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9831: Cimento Portland destinado à cimentação de poços petrolíferos - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 11768: Aditivos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1992.

3M OIL & GAS. Disponível em: <[http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt\\_BR/Oil-Gas\\_LA/3M-Oil-and-Gas/oil-and-gas-Solutions/upstream-oil-and-gas-exploration/upstream-oil-and-gas-drilling/](http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/Oil-Gas_LA/3M-Oil-and-Gas/oil-and-gas-Solutions/upstream-oil-and-gas-exploration/upstream-oil-and-gas-drilling/)> Acesso em 20 dez. 2014

ALBUQUERQUE, Marcelo Lopes de; LEAL, Rafael Alberto Valpaços de Lemos. **Deslocamento de Fluidos Newtonianos em Poços de Petróleo Horizontais não Retilíneos**. PUC-Rio

BEZERRA, Ulisses Targino. **Compósitos Portland-Biopolímero para Cimentação de Petróleo**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2006.

CARNEIRO, Rodrigo Mendes. **Proposta de Método de Gerenciamento de Projetos Baseado em Escopo e Comunicação: Estudo de caso Em Uma Empresa de Perfuração de Poços de Petróleo Offshore**. MBA – Universidade Federal Fluminense Ecivil. Disponível em: <[http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento\\_portland\\_composicao.htm](http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland_composicao.htm)> Acesso em: 16 nov. 2014.

EBAH. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABM50AH/cimentacao-pocos-petroleo-slide> Acesso em 15 dez. 2014.

FONSECA, Marcos Alexandre Izidoro da. **Análise Numérica de Escoamento de Fluidos não Newtonianos em Poços de Petróleo**. PUC-Rio.

GANDELMAN, Roni *at al.* **Annual Transactions of the Nordic Rheology Society**. Disponível em: <[http://projekt.sik.se/nrs/Open\\_transactions/2004/On%20the%20rheological%20parameters.pdf](http://projekt.sik.se/nrs/Open_transactions/2004/On%20the%20rheological%20parameters.pdf)> Acesso em 24 dez. 2014.

JUNIOR, Aldemir Cavalcante Carmin et al. **Cimento Portland**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará. Marabá, PA, 2011.

LIMA, Frank Melo. **Avaliação do Comportamento Reológico de Pastas de Cimento para Poços de Petróleo com Adição de Plastificantes**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2006.

MOURA, Washington Almeida et al. **Avaliação do uso de resíduo de serragem de pedra Cariri (RSPC) para produção de concretos convencionais**. Artigo- Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana, BA, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212013000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212013000100002&script=sci_arttext)> Acesso em: 16 nov. 2014.

PARAISO, Eduardo da Cunha Hora. **Estudo do Escoamento de Pasta de Cimento em Dutos**. Tese de Mestrado – Universidade Rural do Rio de Janeiro. Seopédica, RJ, 2011.

SILVA, Elisângela Pereira da. **Avaliação da Aderência em Estruturas Tubulares Metálicas Revestidas com Material Cimentício sob Esforços Estáticos e Dinâmicos**. Tese de Doutorado – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB, 2010.

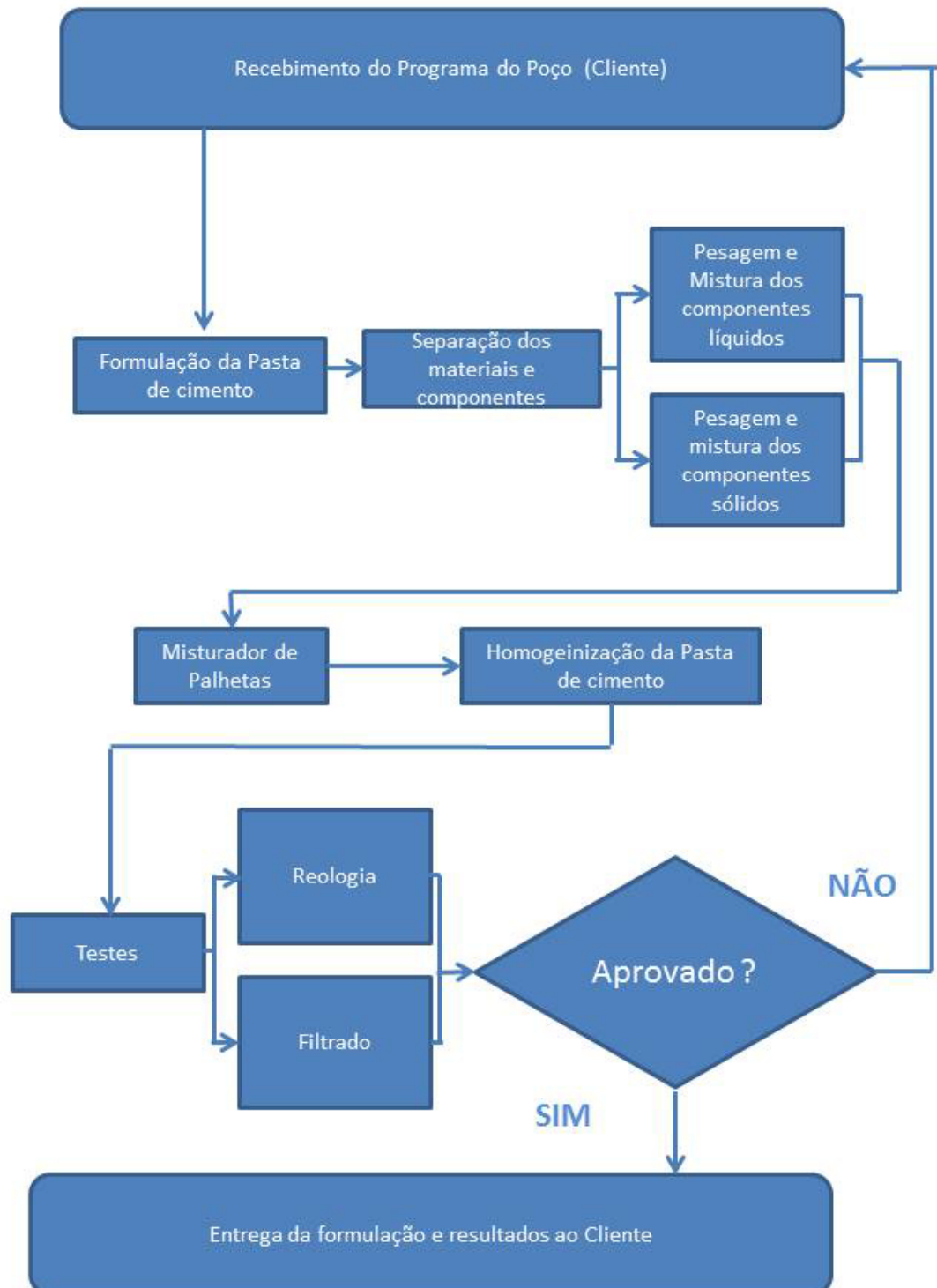
SOUZA, Allan Kardec Araújo de; PINHEIRO, Rafael da Silva. **Cimentação de Poços de Petróleo: Conceitos de Cimento Portland Especial para Poços de Petróleo e Aditivos para Pastas de Cimento**. Universidade Potiguar. Mossoró, RN, 2013.

TEKLAB. Disponível em: <http://teklab.com.br/MaisProduto.asp?Produto=520>. Acesso em: 22 nov. 2014.

THOMAS, J.E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Editora Interciência. Petrobrás. Rio de Janeiro. 2001.

**ANEXO I**

## Fluxograma do laboratório de cimentação





## ANEXO II

Análise de risco operacional das atividades do laboratório de cimentação

| ANÁLISE DE RISCO OPERACIONAL         |                           |                                                  |                                                                           |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ATIVIDADE DESENVOLVIDA               | DESCRIÇÃO DO RISCO        | EFEITO                                           | MEDIDAS DE CONTROLE                                                       |
| MANUSEIO DE COMPONENTES PARA A PASTA | 1-DERRAMAMENTO            | DESPERDÍCIO DE MATERIAL / DANOS AO MEIO AMBIENTE | SOMENTE PESSOAL TREINADO / ISO 9001 E ISO 14001 / EQUIPAMENTO CERTIFICADO |
|                                      | 2-MAU MANUSEIO            | DANO NOS EQUIPAMENTOS                            | PESSOAL TREINADO / TRABALHO EM EQUIPE                                     |
|                                      | 3-LESÃO CORPORAL          | LESÃO NA PELE E OU OLHOS                         | USAR EPI'S ADEQUADOS                                                      |
| MISTURA DE COMPONENTES               | 1-DERRAMAMENTO            | DESPERDÍCIO DE MATERIAL / DANOS AO MEIO AMBIENTE | SOMENTE PESSOAL TREINADO / ISO 9001 E ISO 14001 / EQUIPAMENTO CERTIFICADO |
|                                      | 2-MAU MANUSEIO            | DANO NOS EQUIPAMENTOS                            | PESSOAL TREINADO E EQUIPAMENTO CERTIFICADO                                |
|                                      | 3-LESÃO CORPORAL          | LESÃO NA PELE E OU OLHOS                         | USAR EPI'S ADEQUADOS                                                      |
| TESTE DE REOLOGIA                    | 1-DERRAMAMENTO            | DESPERDÍCIO DE MATERIAL                          | SOMENTE PESSOAL TREINADO / ISO 9001                                       |
|                                      | 2-MAU MANUSEIO            | DANO NOS EQUIPAMENTOS                            | PESSOAL TREINADO E EQUIPAMENTO CERTIFICADO                                |
|                                      | 3-LESÃO CORPORAL          | LESÃO NA PELE E OU OLHOS                         | USAR EPI'S ADEQUADOS                                                      |
| TESTE DE FILTRADO                    | 1-DERRAMAMENTO            | DESPERDÍCIO DE MATERIAL                          | SOMENTE PESSOAL TREINADO                                                  |
|                                      | 2-MAU MANUSEIO            | LESÃO NA PELE E OU OLHOS                         | PESSOAL TREINADO E EQUIPAMENTO CERTIFICADO                                |
|                                      | 3-LESÃO CORPORAL          | DANOS AO MEIO AMBIENTE                           | USAR EPI'S ADEQUADOS                                                      |
|                                      | 4-ROMBIMENTO DE MANGUEIRA | FATALIDADE / LESÃO PESSOAL                       | PESSOAL TREINADO E EQUIPAMENTO CERTIFICADO                                |
|                                      | 5-PRESSÃO                 | FATALIDADE / LESÃO PESSOAL                       | PROCEDIMENTOS E ISO 9001                                                  |
|                                      | 6-BATER CONTRA -VÁLVULA   | DANO NO EQUIPAMENTO / LESÃO                      | PROCEDIMENTOS E ISO 9001                                                  |