



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS

CURSO ENGENHARIA DE PETRÓLEO

AMANDA EVANGELISTA DE ARAÚJO SANTOS

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NO CONTROLE DE FILTRAÇÃO
DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO**

MOSSORÓ

2016

AMANDA EVANGELISTA DE ARAÚJO SANTOS

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NO CONTROLE DE FILTRAÇÃO
DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Petróleo.

Orientador (a): Prof. Dra Keila Regina Santana
Fagundes

MOSSORÓ – RN

2016

© 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 tornar-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.

S237a Santos, Amanda Evangelista de Araújo.
Aplicação de materiais alternativos no controle de filtração dos fluidos de perfuração em poços de petróleo / Amanda Evangelista de Araújo Santos. - 2016.
32 f. : il.

Orientador: Keila Regina Santana Fagundes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de Petróleo, 2016.

1. Parâmetros de Filtração. 2. Polissacarídeos.
3. Bagaço de milho. 4. Bagaço de trigo. 5. Casca de arroz. I. Fagundes, Keila Regina Santana, orient.
II. Título.

AMANDA EVANGELISTA DE ARAÚJO SANTOS

**APLICAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NO CONTROLE DE FILTRAÇÃO
DOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Petróleo.

Defendida em: 10 / 11 / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Keila Regina Santana Fagundes
Prof. Dra. Keila Regina Santana Fagundes (UFERSA)
Presidente

Rodrigo César Santiago
Prof. Dr. Rodrigo César Santiago (UFERSA)
Membro Examinador

Regina Célia D. Brasil Delgado
Prof. Dr. Regina Célia de Oliveira Brasil Delgado (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por tudo e todas as pessoas que de alguma forma acrescentaram algo em minha vida no decorrer dessa jornada.

Ao meu pai, Francisco Evangelista dos Santos não tenho nem palavras para expressar o quanto sou feliz por tê-lo em minha vida. Grata por sempre acreditar que apesar de todas as dificuldades enfrentadas essa grande etapa da minha vida se finaliza com sucesso.

Aos meus familiares e queridos amigos, que contribuíram e contribuem até hoje para que eu possa sempre seguir em frente desfrutando dos momentos bons e utilizando os ruins como aprendizado.

Ao meu namorado, Leonardo Ramalho Medeiros que sempre ajudou e se preocupou com meu desempenho não só enquanto aluna, mas também em todos os outros aspectos. Agradeço por tudo que foi acrescentado em minha vida de maneira positiva, me fazendo uma pessoa melhor.

Enfim, a todos os professores, colegas de turma e profissionais envolvidos no curso de engenharia de petróleo, em especial a Keila Regina Santana que além de ser uma ótima professora/orientadora ajudou bastante para que tudo desse certo e concluído da melhor forma possível.

RESUMO

Os fluidos de perfuração são de grande importância nas atividades petrolíferas, pois são responsáveis principalmente pelo resfriamento da broca, elevação dos cascalhos até a superfície, lubrificação e controle de pressões hidrostáticas, entre outros. Os polímeros utilizados nos fluidos de perfuração agem como viscosificante e apresentam um forte efeito sobre os sólidos em suspensão, no reboco e nos poros da formação com o objetivo de selar as paredes do poço da forma mais eficiente. Neste trabalho, será analisada a aplicação de materiais alternativos no controle de filtração de fluidos de perfuração em poços de petróleo, identificando principalmente o efeito do tipo e da concentração de agentes obturantes alternativos (bagaço de trigo, casca de arroz e bagaço de milho), assim como o tipo de polímero controlador de filtrado (CMC, PAC, HPA) a fim de observar os efeitos de tais parâmetros nas propriedades reológicas de fluidos de perfuração aquosos. Avaliando as interações e propriedades dos obturantes junto com o tipo de polímero, observou-se que o polímero carboximetilcelulose apresentou um maior sinergismo com a casca do arroz frente ao controle das propriedades de filtração do fluido.

Palavras-chaves: Parâmetros de Filtração. Polissacarídeos. Bagaço de milho. Bagaço de trigo. Casca de arroz.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Funções básicas dos fluidos de perfuração.....	13
Figura 2-Representação da estrutura molecular da CMC	15
Figura 3-Estrutura química do PAC	16
Figura 4-Estrutura química do Hidroxipropilamido	16
Tabela 1-Formulação dos Fluidos Aquosos	19
Tabela 2-Intervalo de Análise dos Parâmetros Avaliados.....	20
Tabela 3-Análise Química da Casca do arroz, Bagaço de trigo e Bagaço de milho	21
Figura 5-Diagrama de Pareto – Viscosidade Aparente.....	22
Figura 6-Viscosidade Aparente em função da concentração de obturante para cada polímero utilizado (a) CMC, (b) HPA e (c) PAC	23
Figura 7-Superfície de Resposta – Viscosidade Aparente	24
Figura 8-Diagrama de Pareto – Volume de Filtrado	25
Figura 9-Volume de Filtrado em função da concentração de obturante para cada polímero utilizado (a) CMC, (b) HPA e (c) PAC	26
Figura 10-Superfície de Resposta – Volume de filtrado	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. GESTÃO DO CONHECIMENTO (GC)	11
2.1. FLUIDOS DE PERFURAÇÃO	11
2.2. FLUIDOS DE BASE ÁGUA	13
2.3. POLÍMEROS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO	14
2.3.1. Carboximetilcelulose (CMC)	14
2.3.2. Celulose Polianiônica (PAC)	15
2.3.3. Hidroxipropilamido (HPA)	16
2.4. AGENTES OBTURANTES ALTERNATIVOS	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
3.1. MATERIAIS	18
3.2. PURIFICAÇÃO DOS AGENTES OBTURANTES.....	18
3.3. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AGENTES OBTURANTES.....	19
3.4. PREPARAÇÃO DOS FLUIDOS.....	19
3.5. PARÂMETROS ANALISADOS	20
3.6. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

O entendimento das propriedades de filtração é de grande importância na formulação de fluidos de perfuração. Durante a perfuração de um poço de petróleo em condições onde a pressão hidrostática formada pela coluna de fluido de perfuração é superior à pressão de poros da formação, o contato do fluido com as paredes do poço promove uma deposição de partículas sólidas, a fim de selar as formações permeáveis expostas pela broca denominada reboco, este deve apresentar baixa espessura e permeabilidade, para garantir o sucesso e a segurança das operações de perfuração e completação. A quantidade de fase líquida que invade a formação é chamada filtrado. A necessidade de reduzir essa perda de filtrado do fluido de perfuração pode ser solucionada através da adição de polímeros com alta massa molar.

Alguns trabalhos (Loeber *et al*, 1992; Li *et al*, 1996; Argillier *et al.*, 1997; Benna *et al.*, 1999 and Benna *et al.*, 2001) mostraram que o mecanismo de filtração depende de diversos parâmetros, tais como: a concentração inicial de sólidos no fluido, associação ou agregação de partículas, permeabilidade e poder de retenção do reboco, condições experimentais, etc.

A formação de um reboco interno devido à invasão da formação pelo fluido de perfuração é uma das principais causas da redução da produtividade, por isso se faz necessário um rigoroso controle nas propriedades de filtração dos fluidos utilizados a fim de minimizar problemas tais como: instabilidade do poço, torque e drag excessivos e danos à formação (Khan, 2004). A redução de filtrado e da espessura do reboco pode ser solucionada através do aumento da viscosidade do fluido, com a utilização de polímeros, que formam uma película ao redor das partículas sólidas, estabilizando-as e mantendo-as dispersas no meio líquido. É comumente explicada através dos mecanismos de estabilização eletrostática e de estabilização eletroestérica.

1.1.OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do tipo e da concentração de agentes obturantes alternativos oriundos de materiais alternativos (bagaço de trigo, bagaço de milho, casca do arroz), bem como o tipo de polímero controlador de filtrado (CMC, PAC, HPA) que irá adsorver na superfície desses a fim de reduzir permeabilidade do reboco e

consequentemente, o volume de filtrado. Além de observar os efeitos de tais parâmetros nas propriedades reológicas de fluidos de perfuração aquosos.

2. GESTÃO DO CONHECIMENTO (GC)

2.1.FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

Segundo Thomas *et al.* (2001), os fluidos de perfuração devem ser especificados de forma a garantir uma perfuração rápida e segura. Assim, é desejável que o fluido apresente as seguintes características: ser estável quimicamente, estabilizar as paredes do poço, mecânica e quimicamente, facilitar a separação dos cascalhos na superfície, manter os sólidos em suspensão quando estiver em repouso, ser inerte em relação a danos às rochas produtoras, aceitar qualquer tratamento, físico ou químico, ser bombeável, apresentar baixo grau de corrosão e abrasão em relação à coluna de perfuração e demais equipamentos do sistema de circulação, facilitar as interpretações geológicas do material retirado do poço e, finalmente, apresentar custo compatível com a operação.

Através da compreensão e do estudo das propriedades químicas e físicas dos fluidos de perfuração é possível classificá-los. Segundo Caenn *et al.* (1995), as principais propriedades que devem ser estudadas para classificar um fluido são: peso, viscosidade, reatividade e controle de perda de fluido e dentro de cada item deve-se estudar as características específicas, tais como: densidade (em relação ao peso); força gel e parâmetros reológicos (viscosidade); parâmetros de filtração (para controle de perda de fluidos) e teor de sólidos, pH, sólidos ativos e lubrificidade (reatividade). O estudo dos parâmetros reológicos podem auxiliar no cálculo de perdas de carga na tubulação e na determinação da velocidade de transporte dos cascalhos, as forças géis (pelos parâmetros reológicos) por indicarem o grau de gelificação de um fluido de perfuração, fornecem informações sobre a resistência de um fluido em reiniciar o seu escoamento após um período de repouso das atividades de perfuração. Além dos subitens citados acima, outros são importantíssimos, dentre os quais o pH, capaz de fornecer informações sobre a capacidade do fluido em promover a corrosão dos equipamentos, o teor de sólidos que em altas quantidades influenciam outras propriedades como a densidade, as forças géis e a viscosidade e ainda podem aumentar a probabilidade de desgaste de equipamentos e fratura das formações rochosas.

Os fluidos de perfuração são comumente classificados de acordo com o componente principal que constitui a fase contínua. Esses componentes podem ser: água, óleo ou gás. Quando o componente principal da fase contínua é água, é dito que ele é à base de água, e quando é óleo, o fluido é à base de óleo. Os fluidos à base de gás incluem aqueles em que o gás é a fase contínua (gás seco), e aqueles onde o gás é a fase descontínua, como em espumas e espumas compactas. A presença de ambos os líquidos (óleo e água) juntos resulta em uma emulsão, formada através de agitação e da presença de um emulsificante adequado. A natureza química do agente emulsificante determina se o óleo está emulsionado na água (emulsão direta) ou se a água está emulsionada no óleo (emulsão inversa) (Serra, 2003).

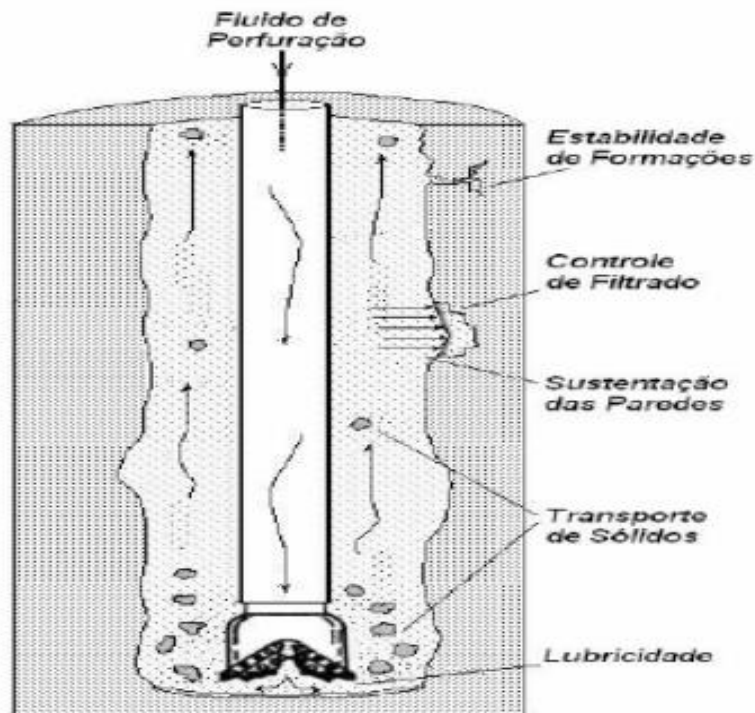
Não existe um fluido que seja adequado para todas as situações. O êxito de uma operação de perfuração depende de forma direta da escolha do fluido de perfuração apropriado para aquele poço. A seleção do fluido de perfuração a ser utilizado depende de diversos fatores a serem estudados, como: (a) impacto ambiental; (b) temperatura e pressão da zona a ser perfurada; (c) características geológicas da zona a ser perfurada; (d) trajetória do poço (inclinação do poço); (e) economicidade (Thomas, 2004).

Uma das funções básicas do fluido de perfuração é exercer pressão hidrostática sobre as formações permeáveis, de modo a evitar a invasão descontrolada de fluidos da formação para o interior do poço ainda durante a operação de perfuração, o que poderia acarretar sérios danos estruturais à coluna de perfuração, bem como impossibilitar a implementação de sistemas de controle.

Os fluidos de perfuração também são desenvolvidos para evitar acidentes decorrentes da diferença de pressões no poço, obtendo-se um equilíbrio apropriado entre o fluido de perfuração e as paredes do poço. O atrito entre o metal e a rocha provoca o aquecimento fazendo-se necessário uma lubrificação e resfriamento, decorrente dos fluidos de perfuração para manter o processo de movimentação suave e estender a vida útil da broca.

Algumas funções básicas dos fluidos de perfuração são mostradas na Figura 1.

Figura 1-Funções básicas dos fluidos de perfuração



Fonte: Geehan, (2000 *apud* Souza, 2007)

2.2. FLUIDOS DE BASE ÁGUA

A definição de um fluido à base de água considera principalmente a natureza da água e os aditivos químicos empregados no preparo do fluido (Thomas *et al* 2001). O controle de propriedades é o principal fator a se considerar para a composição de um fluido, pois a proporção dos componentes e a interação dos mesmos causam mudanças nas propriedades físicas e químicas do fluido.

A água atua como o principal meio de dispersão para os colóides. Entre estes materiais, estão, principalmente, a argila e os polímeros, que controlam a viscosidade, o limite de escoamento, as forças géis e filtrado em valores adequados de forma a garantir uma boa taxa de remoção dos sólidos perfurados e manter estável a parede do poço. Alguns fatores importantes na seleção da água de preparo de fluido de perfuração: custo de transporte e de tratamento, tipos de formações geológicas a serem perfuradas, disponibilidade, componentes químicos do fluido de perfuração e equipamentos e técnicas a serem usados na avaliação das formações (Thomas, 2001).

Os fluidos de perfuração à base de água com baixo teor de sólidos e os fluidos emulsionados com óleo são utilizados em situações especiais. Segundo Thomas (2001), o primeiro é utilizado para aumentar a taxa de penetração da broca, reduzindo o custo total da perfuração, e o segundo tem o objetivo principal de reduzir a densidade do sistema, para evitar que ocorram perdas de circulação em zonas de baixa pressão de poro ou baixa pressão de fratura.

2.3.POLÍMEROS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Os primeiros polímeros foram utilizados nos fluidos de perfuração na década de 30 do século passado para solucionar os problemas de filtração, ou seja, perda da fase continua para a formação permeável. A maneira como os polímeros vieram ganhando espaço ao logo dessas décadas sem dúvida justifica a sua aceitabilidade no mercado, como importante composto dos fluidos de perfuração, visando melhorias das propriedades dos fluidos como parte primordial na perfuração.

2.3.1. Carboximetilcelulose (CMC)

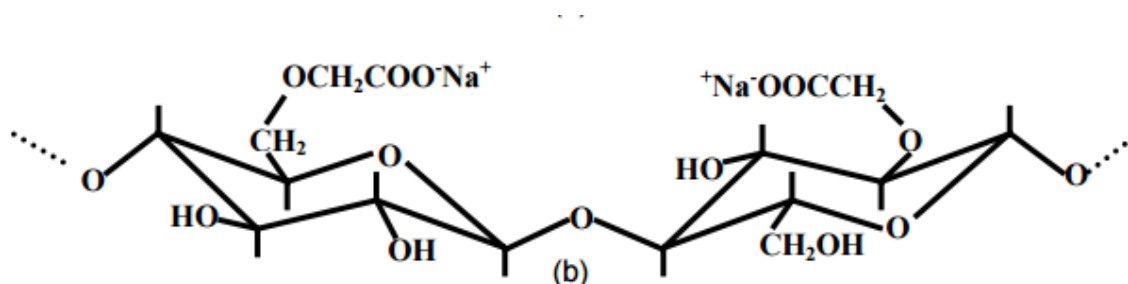
Os polissacarídeos vêm sendo cada vez mais utilizados em uma ampla gama de aplicações industriais (Prado *et al*, 2014, Bachmann *et al*, 2014), especialmente em fluidos de perfuração (Alsabagh *et al*, 2014). O elevado grau de pseudoplasticidade e alta viscosidade (mesmo em baixas concentrações), ambos intrinsecamente dependentes da estrutura do polissacarídeo, são responsáveis por melhorar as propriedades reológicas e de filtração dos fluidos de perfuração, além de controle de hidratação e inibição de argilas durante a perfuração de poços de petróleo. Entretanto, essa classe de polímeros apresenta certa instabilidade em determinadas condições em que os fluidos são submetidos, principalmente, em presença de sais e altas temperaturas e pressões (Tao Wan *et al*, 2011).

Dentre os produtos obtidos através de modificações químicas de celulose, o que mais se destaca é a carboximetilcelulose (CMC), devido a sua importância econômica como agente espessante e pelas diversas aplicações.

Segundo Pereira (2002), seu uso reduz as perdas por filtração e produz rebocos muito finos e capazes de impedir o escoamento da fase contínua do fluido através das formações geológicas que estão sendo perfuradas.

A CMC (Figura 2) é um polímero linear aniônico cuja propriedade mais importante é a solubilização em água fria, originando soluções homogêneas, viscosas e pseudoplásticas, podendo apresentar características tixotrópicas, que variam na sua magnitude com a estrutura molecular e a concentração do polímero em solução, além da temperatura (Pessoa e Barboza Filho, 1991).

Figura 2-Representação da estrutura molecular da CMC

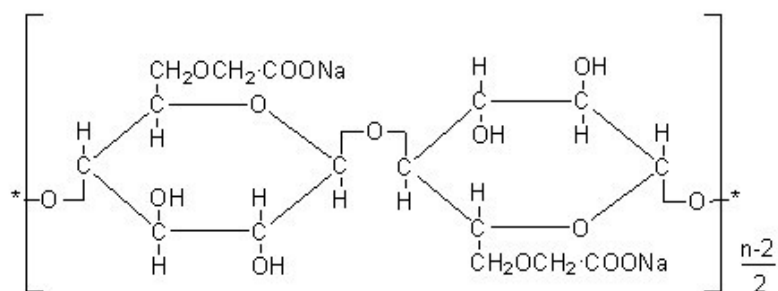


Fonte: Barbosa Filho, 2004

2.3.2. Celulose Polianiônica (PAC)

A celulose polianiônica (PAC), mostrada na Figura 3, é usada como um redutor de filtrado em fluidos de perfuração base água, podendo também atuar como modificador reológico (Bruton *et al.*, 2000). O PAC está disponível em dois tipos (alta e baixa massa molar), ambos com o mesmo grau de controle de filtrado, mas diferentes graus de viscosidade. Esse polímero apresenta estabilidade térmica até 149 ° C (Plank, 1992) e não está sujeito a degradação bacteriana (Lummus e Azar, 1986).

Figura 3-Estrutura química do PAC

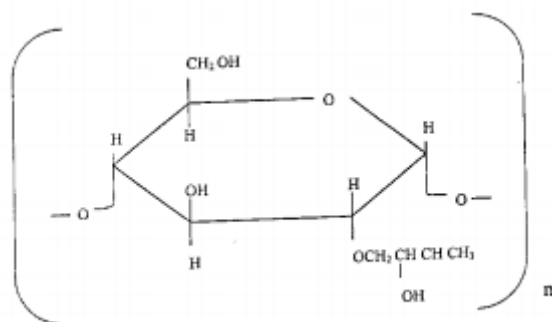


Fonte: irooildrilling (2016)

2.3.3. Hidroxipropilamido (HPA)

O Hidroxipropilamido (Figura 4) é obtido a partir da introdução de grupamentos hidroxietil ou hidroxipropil ao amido, resultando em redução da temperatura de gelatinização, aumento do poder de inchamento, dispersão no aquecimento, aumento da claridade do fluido. (SCHMITZ, 2004).

Figura 4-Estrutura química do Hidroxipropilamido



Fonte: Zander *et al* (2002)

Industrialmente, o amido nativo pode ser eterificado por processo relativamente simples, sendo disperso em água, apresenta relativamente alta reatividade comparado com a celulose nativa. Reagentes alcalinos NaOH e KOH catalisam a reação de substituição pela ativação da

molécula de amido, o qual é realizado pela protonação do grupo hidroxil. A modificação do amido pode acontecer em diferentes fases heterogênea e homogênea (SCHMITZ, 2004).

2.4. AGENTES OBTURANTES ALTERNATIVOS

O aproveitamento integral e racional de todos os recursos disponíveis dentro da propriedade rural, com a introdução de novos componentes tecnológicos, aumenta a estabilidade dos sistemas de produção existentes, bem como maximiza a eficiência dos mesmos, reduzindo custos e melhorando a produtividade. A associação dos diversos componentes em sistemas integrados, que preservem o meio ambiente, estabelece o princípio da reciclagem: "o resíduo de um passa a ser insumo de outro sistema produtivo".

Os sistemas agropecuários dão origem a vários tipos de resíduos orgânicos, entre eles a casca do arroz, o bagaço do trigo e o bagaço do milho, os quais, corretamente manejados e utilizados, reverterem-se em materiais alternativos para ser aplicados como agentes obturantes em fluidos de perfuração aquosos, a fim de se formar um reboco de baixa permeabilidade durante a perfuração de poços.

A tabela 1 a seguir, mostra a produção dos materiais alternativos no Brasil (2001/2004) utilizados nesse trabalho.

Tabela 1-Situação mundial dos principais cereais 2001/2004.

<i>Cereal</i>	ANO			
	2001	2002	2003	2004
	Produção de grãos x 1000 (t)			
Milho	614,751	604,407	635,708	705,293
Arroz	597,889	575,429	584,975	624,093
Trigo	590,309	572,666	557,308	608,496
	Área colhida x 1000 (ha)			
Milho	139,081	137,830	141,151	217,556
Arroz	151,696	147,589	150,938	153,256
Trigo	214,719	213,485	208,132	145,142
	Rendimento (kg/ha)			
Milho	4.420	4.385	4.503	4.859
Arroz	3.941	3.898	3.875	3.970
Trigo	2.749	2.682	2.677	2.868

Fonte: FAOSTAT Database. 2005

O dano à formação causado pela invasão do filtrado na formação com a consequente redução da permeabilidade do meio foi estudado na filtração estática e dinâmica por Argillier *et al* (1999), a fim de correlacionar as propriedades de filtração com as características dos rebocos (externo e interno) formados. Os autores observaram que o dano à formação é mais pronunciado nos primeiros cinco centímetros e que o dano adicional do meio pode ser atribuído à invasão dos aditivos poliméricos utilizados para reduzir o volume de filtrado, além do que a prevenção da geração de danos com a utilização de fluidos aquosos em condições de *overbalance* requer uma otimização da estrutura do aditivo controlador de filtrado e da distribuição do tamanho de partícula.

Lomba e colaboradores (2002) utilizaram sólidos com diferentes distribuições de tamanhos de partículas e concentrações em fluidos poliméricos a fim de avaliar as propriedades de filtração em um meio poroso inconsolidado. Os autores observaram que um aumento na concentração de sólidos não significa necessariamente uma redução na invasão de sólidos e/ou fluidos na formação, já que o tamanho de partícula e a forma se mostraram os fatores que governam a invasão do fluido.

A otimização do uso de energia e de materiais, assim como a busca pela satisfação social, são, atualmente, características fundamentais para a concepção de projetos que devem criar soluções para produzir conforme os princípios do desenvolvimento sustentável.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.MATERIAIS

Os materiais utilizados na preparação dos fluidos de perfuração foram: goma xantana (GX), carboximetilcelulose (CMC), poliácido acrílico (PAC), hidroxipropilamido (HPA), Cloreto de Sódio (NaCl) Carbonato de Cálcio (CaCO_3) doados pela PETROBRAS e os obturantes (casca de arroz, bagaço de trigo e bagaço de milho).

3.2.PURIFICAÇÃO DOS AGENTES OBTURANTES

A purificação dos obturantes (casca de arroz, bagaço de milho e bagaço de trigo) foi realizada com hidróxido de sódio (NaOH) por 24 horas. Sequencialmente, foi realizado uma

lavagem com água destilada para retirada do hidróxido de sódio e das impurezas presentes, e por fim levados à estufa para secar num período de 24 horas. Após a purificação, as amostras dos obturantes foram submetidas ao processo de separação de grãos em peneiras de 50 mesh.

3.3.COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AGENTES OBTURANTES

A composição química dos obturantes foi obtida através de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX) em um equipamento Shimadzu modelo EDX-820, que tem como finalidade identificar os elementos presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra na amostra.

3.4.PREPARAÇÃO DOS FLUIDOS

Os fluidos de perfuração aquosos (Tabela 2) foram preparados em um agitador Hamilton Beach (1 bbl equivalente – 350,5 mL), adicionando sequencialmente todos os aditivos. Os aditivos foram incorporados ao fluido em intervalos de 10 minutos e, posteriormente submetidos à análise de suas propriedades reológicas e de filtração, onde serão avaliados os efeitos do tipo e concentração de obturante, além do polímero controlador de filtrado.

Tabela 2-Formulação dos Fluidos Aquosos

Aditivo	Concentração
Goma Xantana	1,5 lb/bbl
CMC/PAC/HPA	3 lb/bbl
NaCl	20 lb/bbl
CaCO ₃	10 lb/bbl
Bagaço de trigo, bagaço e milho e casca do arroz	2/4/6 lb/bbl

3.5. PARÂMETROS ANALISADOS

Foi utilizado um planejamento fatorial 3^3 , totalizando 27 fluidos produzidos com três níveis e três variáveis (mínimos (-1), intermediários (0) e máximos (+1)), como mostra a Tabela 3, para avaliar a interação dos parâmetros utilizados (tipo de obturante, concentração de obturante e tipo de polímero controlador de filtrado), tendo como variáveis de resposta: Parâmetros reológicos e de filtração.

Tabela 3-Intervalo de Análise dos Parâmetros Avaliados

Parâmetro	Valor Mínimo (-1)	Valor Intermediário (0)	Valor Máximo (+1)
Tipo de obturante	Bagaço de trigo	Bagaço do milho	Casca do arroz
Concentração de Obturante	2 lb/bbl	4 lb/bbl	6 lb/bbl
Polímero	CMC	PAC	HPA

Para tratamento dos dados, o programa estatístico *Statistica Software versão 7.0* foi empregado para obtenção dos efeitos, Diagrama de Pareto e as superfícies de respostas.

3.6. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS REOLÓGICOS

As propriedades reológicas foram determinadas em um viscosímetro rotativo da FANN, modelo 35 A, combinação de R1-B1 e mola de torção F1. A análise reológica de cada fluido foi realizada em diferentes rotações (600, 300, 200, 100, 6 e 3 rpm) e, posteriormente, a viscosidade plástica (VP), viscosidade aparente (VA), limite de escoamento (LE) e a força gel (Gel inicial e final) foram determinadas, conforme a norma API.

3.7. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE FILTRAÇÃO

O fluido foi filtrado através de um filtro de papel Whatman N° 50, sob pressão de 100 PSI exercida com nitrogênio gasoso, por 30 minutos, em filtro prensa API Baixa Pressão, Baixa Temperatura (BPBT) da Fann. Este teste foi realizado de acordo com a norma API 13B-1 2003.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Composição Química dos materiais alternativos utilizados

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos da análise por Fluorescência de raios X da casca do arroz, do bagaço do trigo e do bagaço do milho, respectivamente. Neste método, a presença dos elementos se manifestam em um espectro através de suas radiações características, esta foi realizada pelo método semi-quantitativo.

Tabela 4-Análise Química da Casca do arroz, Bagaço de trigo e Bagaço de milho

Componente	Concentração (%)		
	Casca do arroz	Bagaço do Trigo	Bagaço do Milho
SiO ₂	44,147	5,517	3,177
SnO ₂	21,676	--	--
CaO	11,093	16,630	4,410
Fe ₂ O ₃	7,427	10,386	7,930
MnO	6,934	6,857	--
K ₂ O	4,262	18,857	21,502
CuO	3,577	1,857	1,093
ZnO	0,875	9,696	34,489
SO ₃	--	10,051	8,903
P ₂ O ₅	--	9,351	10,919
Na ₂ O	--	8,567	7,578
MgO	--	2,231	--
Σ (Somatório)	100,00	100,00	100,00

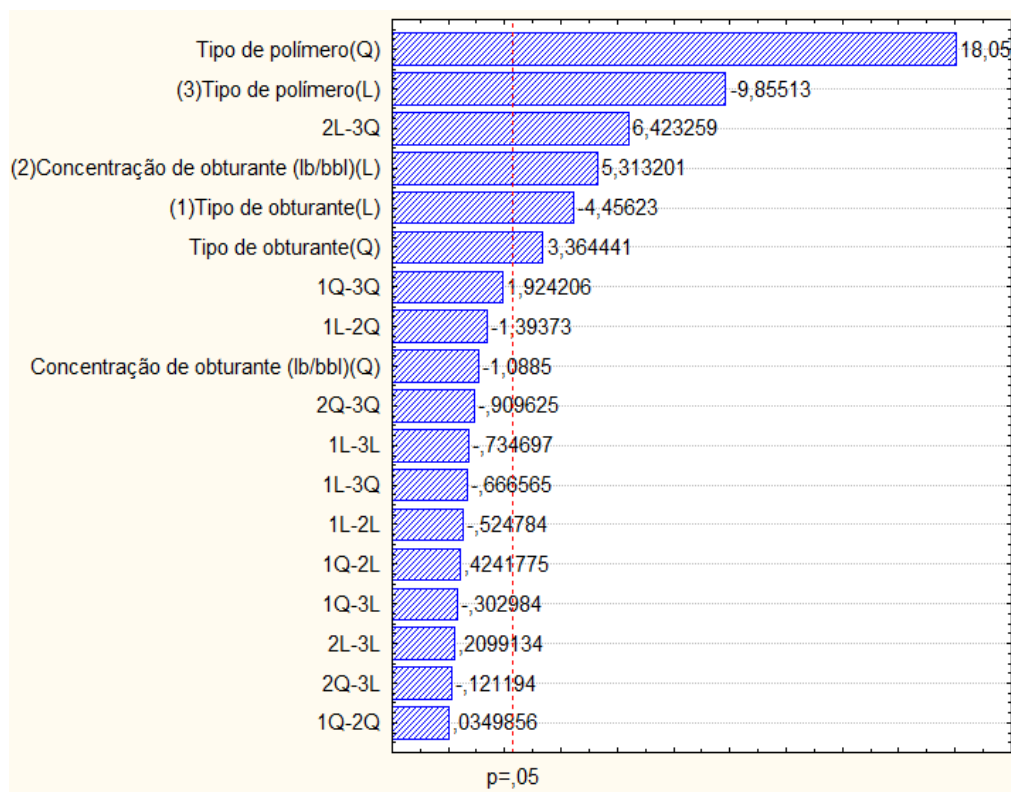
De acordo com a Tabela 4, fica constatado que a sílica representa o maior percentual dos elementos presentes na casca do arroz. A presença dos grupamentos silanóis é responsável por conferir uma maior interação com os grupos funcionais dos polímeros.

Os bagaços de milho e trigo apresentaram diferenças na composição química devido as suas respectivas origens e diferentes formas de processamento. O bagaço do milho apresentou maior teor de óxido de zinco (34,19%) e o bagaço de trigo apresentou uma distribuição mais uniforme dos seus componentes, sendo o K₂O e o CaO em maior percentual.

4.2. Parâmetros Reológicos

Foi realizado um estudo através do Diagrama de Pareto (Figura 5) para se observar a sensibilidade da viscosidade aparente em relação aos intervalos de parâmetros avaliados.

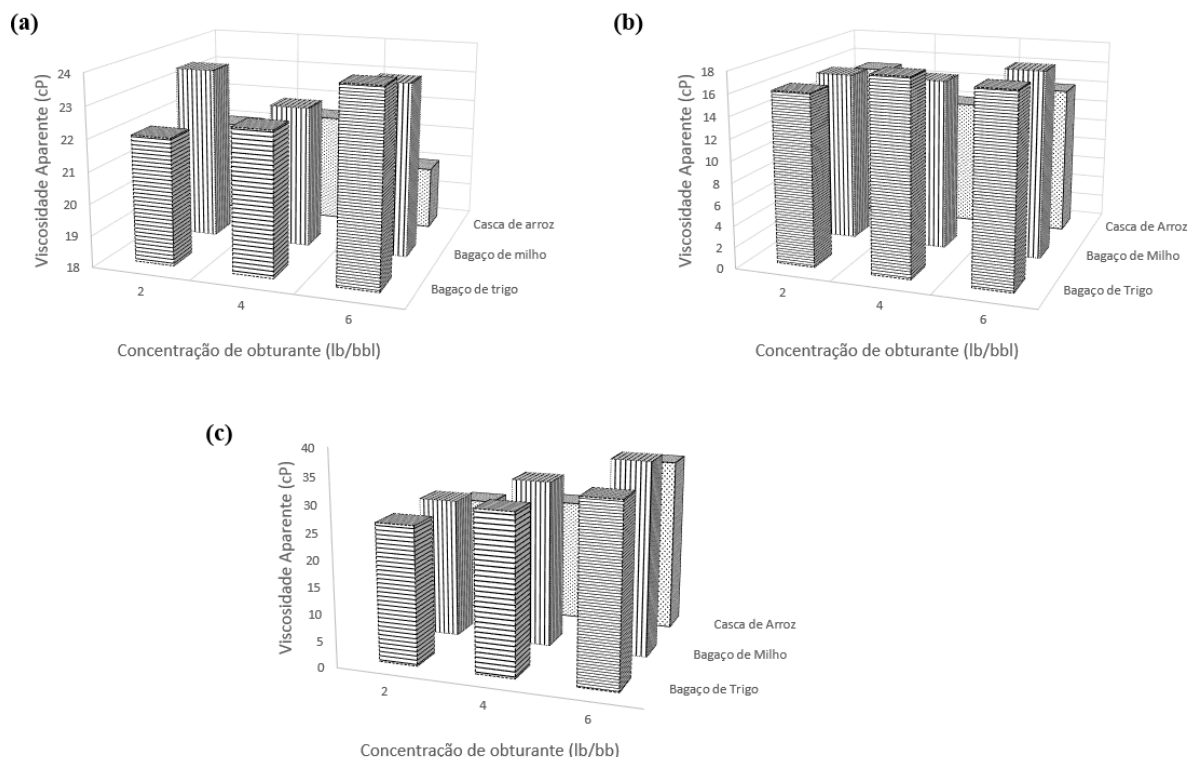
Figura 5-Diagrama de Pareto – Viscosidade Aparente



De acordo com a Figura 5, percebe-se que os parâmetros que se mostraram estatisticamente relevantes para a viscosidade aparente foram o tipo de polímero, o tipo e a concentração de obturante e a interação dos parâmetros concentração de obturante e tipo de polímero.

A Figura 6 apresenta a viscosidade aparente em função da concentração de obturante para cada polímero utilizado.

Figura 6-Viscosidade Aparente em função da concentração de obturante para cada polímero utilizado (a) CMC, (b) HPA e (c) PAC

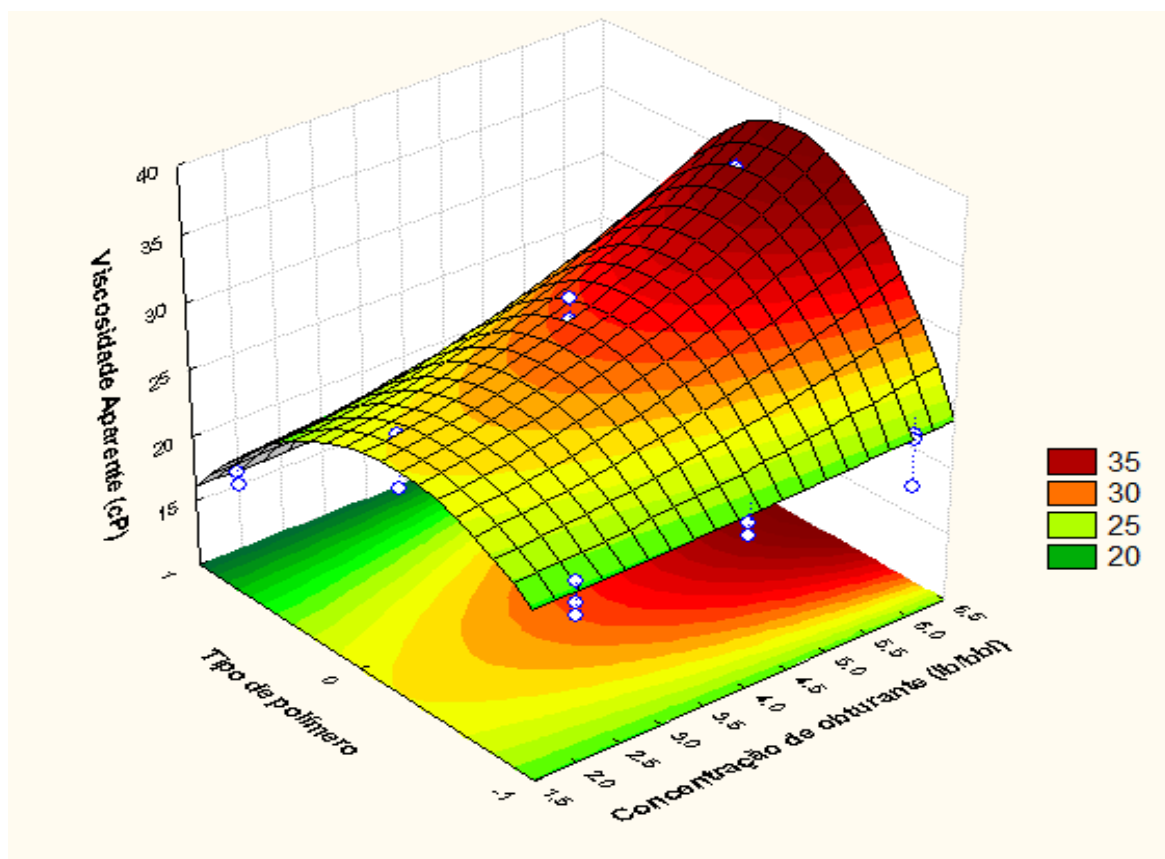


De acordo com os resultados apresentados na Figura 6, o bagaço de milho apresentou um ligeiro incremento de viscosidade aparente em sistemas contendo CMC e HPA. A composição química do bagaço de milho é representada aproximadamente por 35% de ZnO (principal constituinte). Conforme mostra a literatura, o íon Zn^{++} estabelece interações fracas com as carboxilas presentes nos polissacarídeos. Comparando os dados obtidos de viscosidade aparente em função dos sistemas contendo bagaço de milho, foi verificado que a presença desses íons não promoveu um expressivo aumento da viscosidade, exceto no sistema contendo PAC. Nesse sistema (PAC/bagaço do milho) apresentou um maior incremento de viscosidade comparado aos demais. A mudança de reologia do sistema pode ser dita pela adsorção do polieletrólito na superfície do obturante, promovendo, portanto, um aumento do volume hidrodinâmico da molécula. Obviamente que a adsorção desse polímero irá depender de uma série de parâmetros: massa molar média do polímero, comprimento médio da cadeia e as conformações assumidas após mudanças de pH do sistema e principalmente, a quantidade de grupos aniônicos e catiônicos presentes (Polieletrólitos). O polieletrólito é caracterizado por apresentar grupos carregados ao longo da cadeia polimérica, sendo então governada pelos processos de ionização, os quais são fortemente dependentes do pH e consequentemente, dependente dos constituintes presentes. Esses parâmetros mencionados são extremamente

importantes, pois se a partícula de obturante não estiver totalmente recoberta pelo polímero, poderão ocorrer interações com outros constituintes, o que poderá possivelmente, resultar em uma floculação. Por essa razão, em virtude dessa complexidade de fatores, os mecanismos inerentes ao processo de adsorção desses polieletrólitos na casca de arroz, no bagaço de milho e trigo ainda não foram totalmente elucidados.

Em virtude da influência da interação entre o tipo de polímero e a concentração de obturante apresentado no Diagrama de Pareto, a Figura 7 mostra a Superfície de Resposta obtida referente a viscosidade aparente (cP). A região vermelha das Superfícies de Resposta mostra a região de maior viscosidade aparente obtida no intervalo dos parâmetros estudados.

Figura 7-Superfície de Resposta – Viscosidade Aparente

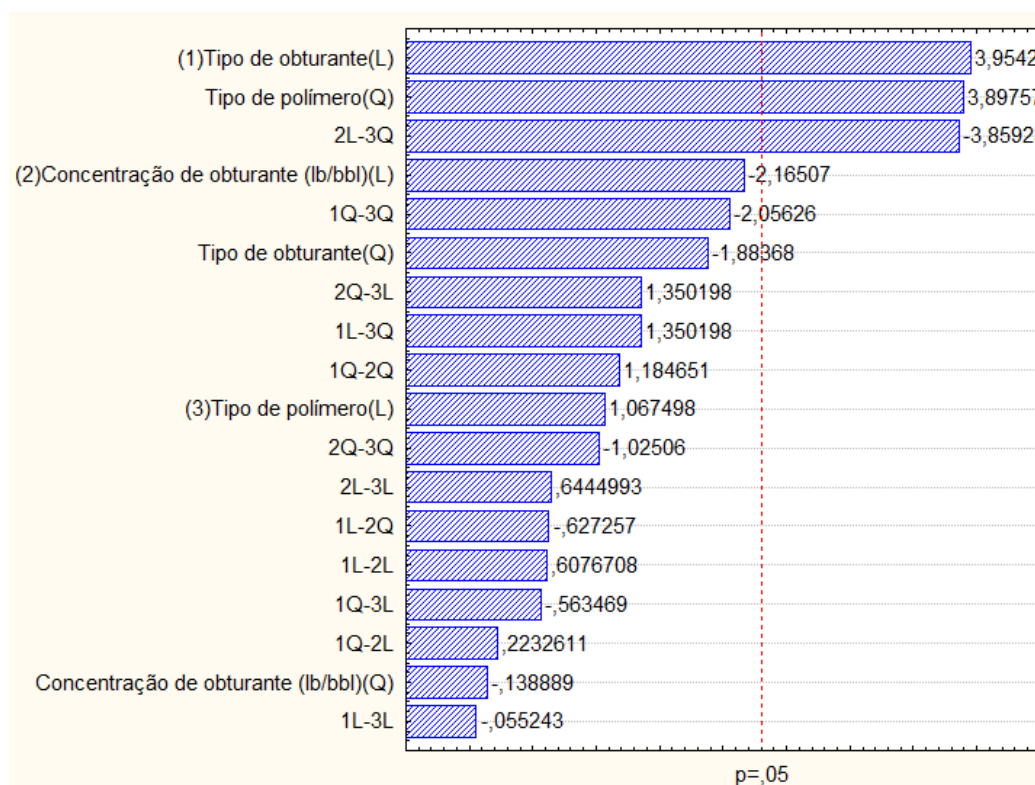


De acordo com a Figura 7, pode-se observar que para a interação concentração de obturante e tipo de polímero, as maiores viscosidades aparente foram obtidas para o PAC nas maiores concentrações de obturantes utilizadas, esses resultados corroboram com a discussão apresentada anteriormente.

4.3. Parâmetros de Filtração

Foi realizado um estudo através do Diagrama de Pareto (Figura 8) para se observar a sensibilidade do volume de filtrado em relação aos intervalos de parâmetros avaliados.

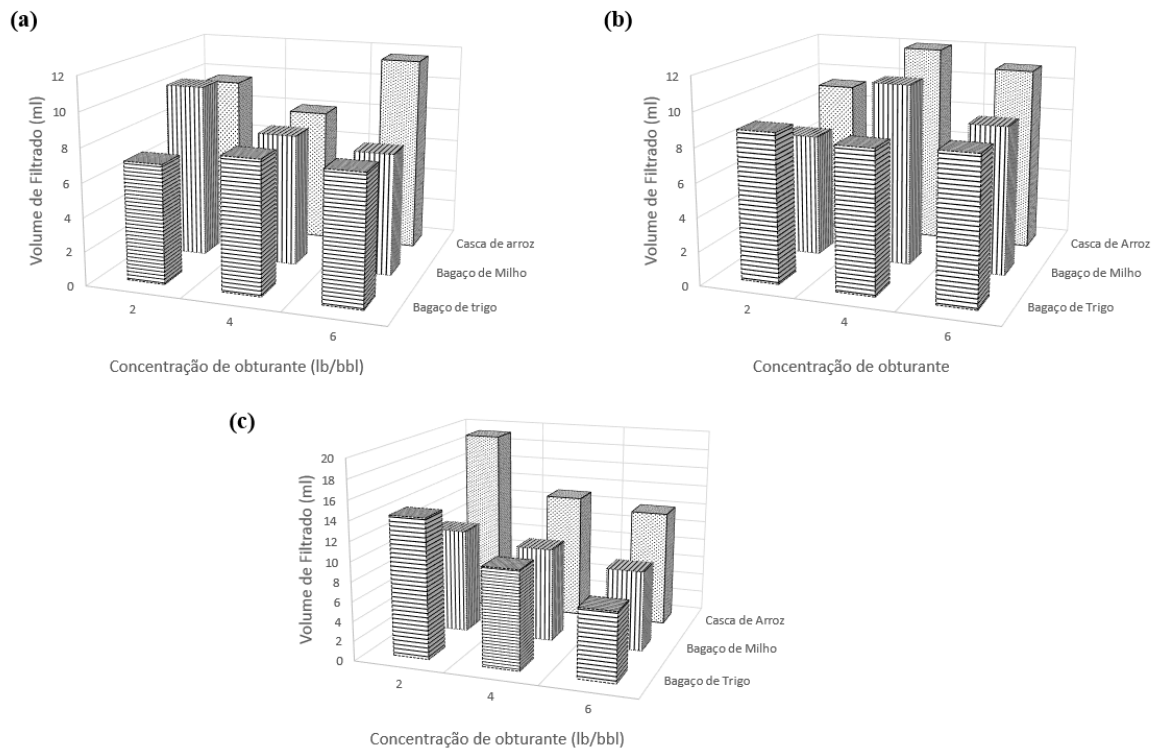
Figura 8-Diagrama de Pareto – Volume de Filtrado



De acordo com a Figura 8, percebe-se que os parâmetros que se mostraram estatisticamente relevantes para o volume de filtrado foram o tipo de obturante, tipo de polímero e a interação dos parâmetros concentração de obturante e tipo de polímero.

A Figura 9 apresenta o volume de filtrado em função da concentração de obturante para cada polímero utilizado.

Figura 9-Volume de Filtrado em função da concentração de obturante para cada polímero utilizado (a) CMC, (b) HPA e (c) PAC

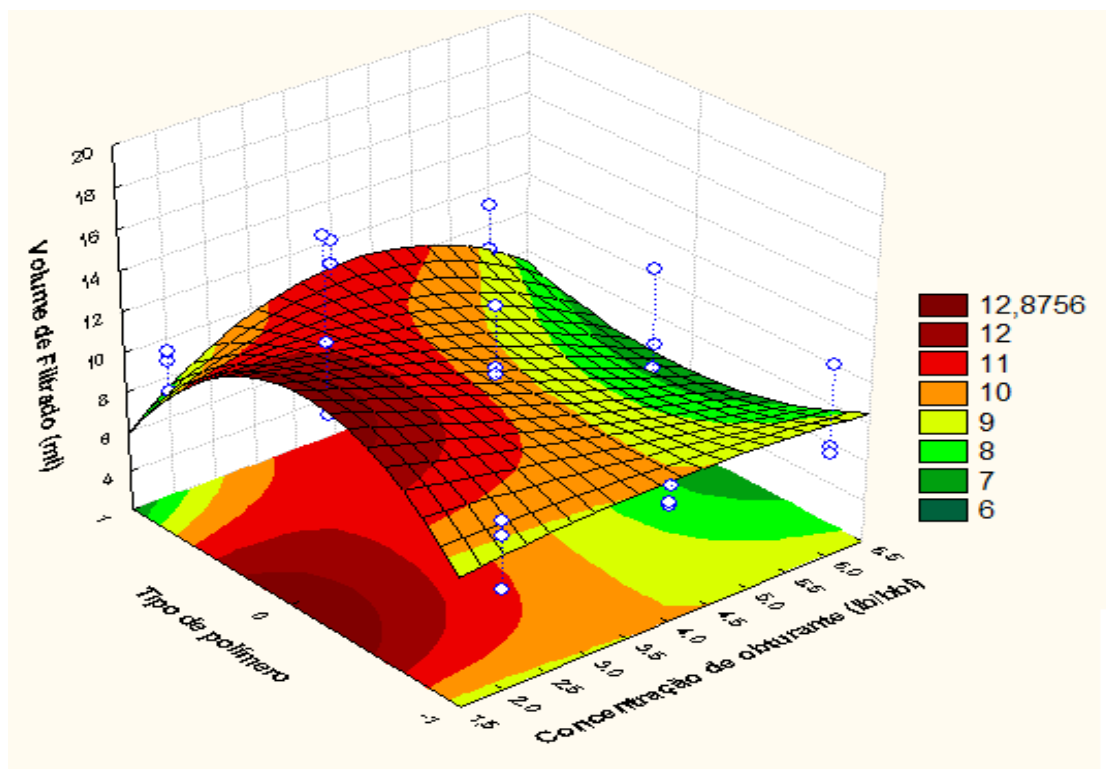


De acordo com a Figura 9, fica evidenciado que existe uma concentração ótima de obturante para cada sistema contendo CMC, HPA e PAC. A interação da CMC-HPA-PAC/obturante evidenciou uma concentração ótima em torno de 4lb/bbl. Em contrapartida, fica claramente evidenciado a forte dependência da casca do arroz com sistema contendo o polieletrólito CMC, tendo em vista a variação nos valores de volume de filtrado. Esse comportamento pode ser explicado devido ao fato de que concentrações de obturante acima desse patamar passa a ser favorecido com a interação interpartículas do obturante ao invés da interação CMC-casca de arroz, ocasionado à formação de um reboco espesso e de alta permeabilidade. Possivelmente, em virtude da alta concentração de sílica no meio, as interações por ligações de hidrogênio entre as partículas sejam favorecidas ao invés das interações polímero/obturante, justificando, portanto, um aumento no volume de filtrado em concentrações maiores desse obturante (Casca de arroz). Comportamento similar é observado em outros sistemas (HPA e PAC), onde fatores como tamanho de cadeia, volume hidrodinâmico, força iônica e caráter hidrofílico/hidrofóbico precisam ser avaliados de forma a elucidar os mecanismos inerentes a cada sistema. Nesse contexto, apenas o polímero de carboximetilcelulose apresentou um maior sinergismo com a casca do arroz frente ao controle

das propriedades de filtração do fluido. Em relação ao sistema contendo bagaço de milho, fica evidenciado a forte dependência com cada um dos polímeros. Nos sistemas contendo CMC e PAC é observado uma redução do volume de filtrado com o aumento da concentração do obturante no meio (bagaço de milho), ao passo que no sistema contendo HPA, ocorre um ponto de inflexão na curva, a qual dita um ponto ótimo para a concentração de obturante no meio. Conforme mencionado anteriormente a presença de íons Zn^{++} são responsáveis por promover interações com o polímero de CMC e assim favorecer o “recobrimento da cadeia polimérica na superfície do suporte”, o qual favorecerá a redução do volume de filtrado com o aumento de sua concentração. Em contrapartida, a associação desse obturante com o HPA (polímero neutro), na presença de íons Zn^{++} , as cadeias poliméricas sofrem uma intensa repulsão intermolecular, formando estruturas menos rígidas e mais flexíveis e consequentemente, dificultando sua interação com os constituintes do obturante. Em paralelo, o aumento de sua concentração no meio favoreceu a redução do volume de filtrado, onde interações entre as partículas do obturante foram favorecidas e por consequência a formação de um reboco menos permeável, mesmo com uma maior quantidade de sólidos e menor plasticidade. Por sua vez, a utilização do bagaço de trigo como obturante comprovou que concentrações acima de 2 lb/bbl e em associação com CMC ou HPA não foi responsável por favorecer mudanças significativas quanto ao controle do volume de filtrado dos fluidos. Ao passo que, em associação com o PAC foi observada uma maior dependência com a concentração desse obturante no meio. Um fator importante nesse material é o íon Mg^{2+} (MgO), o qual é um íon bivalente que apresenta baixa energia de dissociação quando comparado ao íon Zn^{++} , e assim sendo, esse cátion reage rapidamente com o CMC. A presença do íon Mg^{++} estabelece pontes iônicas intermoleculares entre os grupos ou zonas que apresentam carga negativa. Este tipo de interação contribui também para redução das repulsões entre as cadeias. Esses dois fatores: o estabelecimento de interações intermoleculares e a redução das repulsões entre as cadeias contribuem para produzir uma rede polimérica mais estável e assim, controlar melhor o filtrado com o aumento de sua concentração.

Em virtude da influência da interação entre o tipo de polímero e a concentração de obturante apresentado no Diagrama de Pareto, a Figura 10 mostra as Superfícies de resposta obtida referente ao volume de filtrado (mL). A região vermelha das Superfícies de Resposta mostra a região de maior volume de filtrado obtido no intervalo dos parâmetros estudados.

Figura 10-Superfície de Resposta – Volume de filtrado



De acordo com a Figura 10, pode-se observar que para a interação concentração de obturante e tipo de polímero, os maiores volumes de filtrado foram obtidos para o PAC com a menor concentração de obturante utilizada, esse comportamento pode ser explicado em virtude da concentração de 2lb/bbl foi insuficiente para formar um reboco de baixa permeabilidade, portanto com um alto volume de filtrado, corroborando com os resultados apresentados anteriormente.

5. CONCLUSÕES

- A sílica representou o maior percentual dos elementos presentes na casca do arroz, esta é responsável por conferir uma maior interação com os grupos funcionais dos polímeros.
- Os bagaços de milho e trigo apresentaram diferenças na composição química devido as suas respectivas origens e diferentes formas de processamento.
- A interação concentração de obturante e tipo de polímero, mostraram que as maiores viscosidades aparente foram obtidas para o PAC nas maiores concentrações de obturantes utilizadas.

- O polímero de carboximetilcelulose apresentou um maior sinergismo com a casca do arroz frente ao controle das propriedades de filtração do fluido.
- A utilização do bagaço de trigo como obturante comprovou que concentrações acima de 2 lb/bbl e em associação com CMC ou HPA não foi suficiente por favorecer mudanças significativas quanto ao controle do volume de filtrado dos fluidos.
- A associação PAC/bagaço de trigo resultou numa maior dependência com a concentração desse obturante no meio, devido à presença do íon Mg^{2+} no polímero. O estabelecimento de interações intermoleculares e a redução das repulsões entre as cadeias contribuem para produzir uma rede polimérica mais estável e assim, controlar melhor o filtrado com o aumento de sua concentração.
- Os maiores volumes de filtrado foram obtidos para o PAC com a menor concentração de obturante utilizada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12653**: Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.

ALMEIDA, Suelen Rodrigues. **Pirólise Rápida de Casca de Arroz: Estudo de parâmetros e Caracterização de Produtos**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ALSABAGH, A.M; ABDOU, A.I.; KHALIL, A.A.; AHMED, H.E.; ABOULROUS, A.A.; **Investigation of some locally water-soluble natural polymers as circulation loss control agents during oil fields drilling**, Egyptian Journal of Petroleum, DOI, 2014.

ARGELLIER, J.F.; AUDIBERT, A.; LONGERON, D.; **Performance Evaluation and Formation Damage Potential of New Water-Based Drilling Formulas**, SPE Drill. & Completion, v.14, No. 4, SPE 59484, 1999. Disponível em: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-59484-PA> Acesso em: 21 Out. 2016.

ARGILLIER, J.F.; AUDIBERT, A.; BAILE, L.; REID, P.I; Process and water-bae fluid utilizing hydrophobically modified cellulose derivatives as filtrate reducers, **Patente**, US5669456A, 1997.

BACHMANN, R.T.; JOHNSON, A.C.; EDYVEAN, R.G.J.; Biotechnology in the petroleum industry: An overview, International Biodeterioration & Biodegradation, v. 86, p. 225-237, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830513003326> Acesso em: 20 Out. 2016.

BEMILLER, James; WHISTLER, Roy. **STARCH: CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**. Disponível em: <<http://197.14.51.10:81/pmb/AGROALIMENTAIRE/Starch.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2016.

BENNA, M.; ARIGUIB, N.K.; MAGNIN, A.; BERGAVA, F.; Effect of pH on Rheological Properties of Purified Sodium Bentonite Suspensions, *Journal of Colloid and Interface Science*, v.218, p. 442-455, 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979799964202> Acesso em: 22 out. 2016.

BENNA, M.; KBIR-ARIGUIB, N.; CLINARD, C.; BERGAYA, F.; Static filtration of purified sodium bentonite clay suspensions. Effect of clay content, *Applied Clay Science*, v.19, p.103-120, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131701000503> Acesso em: 22 Out. 2016.

CAENN, RYEN; CHILLINGAR, GEORGE V. **Drilling Fluids : State of the Art.. Journal of Petroleum Science and Engineering**. USA: a Westport technology Center; Civil engineering department, University of Southern California. June 1995.

J. Bruton, R. Mercer, D. Paul **The application of new generation CaCl₂ mud systems in the Deepwater Gulf of Mexico** IADC/SPE Drilling Conf., New Orleans, February. SPE 59051 (2000).

J.C. Lummus, J.J. Azar, **Drilling Fluids Optimization**—A Practical Field Approach, vol. 112, PennWell Publishing, Tulsa, Oklahoma (1986), p. 160.

KIELING, A. G. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNISINOS. São Leopoldo, RS, 2009.

LOMBA, R.F.T.; MARTINS, A.L.; SOARES, C.M.; BRANDAO, E.M. MAGALHAES. J.V.M.; FERREIRA, M.V.D.; **Drill-In Fluids: Identifying Invasion Mechanisms**, SPE 73714, International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, 2002.

OLATUNDE, A. O.; USMAN, M. A.; OLAFADEHAN, O. A.. **IMPROVEMENT OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DRILLING FLUID USING LOCALLY BASED MATERIALS**. 2012. Disponível em:

<http://www.vurup.sk/sites/default/files/downloads/pc_1_2012_tunde_147_0.pdf>. Acesso em: 25 out. 2016.

PESSOA, L. T. G., Barboza Filho, A. L., **Carboximetilcelulose – Correlações entre estrutura molecular e propriedades reológicas em sistemas aquosos**. In: I Bibliografia 79 Congresso Brasileiro de Polímeros, São Paulo – SP, Novembro de 1991, pp 545 – 551.

PEREIRA, E., **Química dos Polímeros e Aplicações** – Partes I, II, III e IV, 2002. Disponível em: www.systemmud.com.br, Acesso em: outubro 2016.

PLANK, Johann P.. **WATER-BASED MUDS USING SYNTHETIC POLYMERS DEVELOPED FOR HIGH TEMPERATURE DRILLING**. Disponível em: <<http://www.ogj.com/articles/print/volume-90/issue-9/in-this-issue/drilling/water-based-muds-using-synthetic-polymers-developed-for-high-temperature-drilling.html>>. Acesso em: 17 out. 2016.

POLYMERS. 2009. Disponível em: <www.sciencedirect.com/Science/article/pii/S0144861709002215>. Acesso em: 27 out. 2016.

PRADO, H.J.; MATULEWICZ, M.C.; Cationization of polysaccharides: A path to greener derivatives with many industrial applications, **European Polymer Journal**, v. 52, p. 53-75, 2014.

RICHARDSON, S. ; GORTON, L. **Characterisation of the substituent distribution in starch and cellulose derivatives**. Analytica Chimica Acta 497 (2003) 27-65

SCHMITZ, Claudio Salvalaggio. **AVALIAÇÃO DO DIHIDROXIPROPILAMIDO (DHPA) OBTIDO A PARTIR DO AMIDO DE MANDIOCA COMPARATIVAMENTE AO HIDROXIPROPILAMIDO (HPA) E AOS AMIDOS NATIVOS DE MILHO E DE MANDIOCA**. 2004. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SERRA, A.C.S., **A influência de aditivos de lama de perfuração sobre as propriedades geoquímicas de óleos**. Rio de Janeiro: Tese de doutorado-UFRJ. 2003. 163p.

SILVA, F. J. **Reforço e fratura em compósitos de matriz álcali-ativada**. 2000. 271 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Instituto militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2000.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos da engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos da engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

TOWN, Mushi. **Polyanionic Cellulose (PAC)**. 2011. Disponível em: <<http://www.irooildrilling.com/Viscosifier/PAC.htm>>. Acesso em: 20 out. 2016.

VITAL, G. S. **Seleção de tensoativos e influência de um estabilizante para a otimização de formulações de fluidos de perfuração à base de óleo vegetal**, Monografia de fim de Curso. Natal: UFRN, 2005. 50p.

WAN, T.; YAO, J.; ZISHUN, S.; LI, W.; **Solution and drilling fluid properties of water soluble AM-AA-SSS copolymers by inverse microemulsion**, Journal of Petroleum Science and Engineering, v.78, p. 334-337,2011. Disponível em:<http://www.sciencedirect.com/Science/article/pii/S09204105110011616>

Acesso em: 26 Out. 2016

YIN Chungen; ROSENDAHL Lasse A.; KÆR Søren K. **Grate-firing of biomass for heat and power production**. Progress in Energy and Combustion Science, v. 34, p. 725-754. 2008.

ZANDER, Norbert; CONRADT, Harald; EICHNER, Wolfram. **MÉTODO DE PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE HIDROXIALQUIL AMIDO**. Disponível em: <<http://www.escavador.com/patentes/411026/metodo-de-producao-de-derivados-de-hidroxi-alquil-amido?page=4>>. Acesso em: 25 out. 2016.