

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO MUD LOGGING: UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES ÓPTICOS FLUORESCENTES PARA OBTER MAIOR PRECISÃO NO LAG TIME DA PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO ONSHORE

AUTORES:

Karolynne Emanuelle Alves Rodrigues,
Antonio Eduardo Martinelli,
Armando Monte Mendes.

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

AVANÇOS TECNOLÓGICOS NO MUD LOGGING: UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES ÓPTICOS FLUORESCENTES PARA OBTER MAIOR PRECISÃO NO LAG TIME DA PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO ONSHORE

Resumo

O uso de traçadores ópticos fluorescentes no mud logging representa um avanço significativo, proporcionando medições mais precisas e seguras durante a perfuração de poços de petróleo onshore. Esta tecnologia não apenas aprimora a eficiência operacional e a segurança das atividades de acompanhamento de perfuração, mas também se alinha com os princípios da transição energética, promovendo práticas mais sustentáveis e menos invasivas, reduzindo assim o impacto ambiental. A incorporação de métodos inovadores de monitoramento no mud logging evidencia um novo cenário, onde medições precisas e uma janela de operação reduzida são cruciais para atender as demandas de um setor em evolução. Os pigmentos fluorescentes, baseados nas propriedades ópticas dos corantes, são componentes essenciais dos revestimentos para marcadores em diversas aplicações industriais, especialmente no setor de perfuração de poços de petróleo, com a finalidade de proporcionar precisão na medição da profundidade do poço durante sua perfuração. Conhecer o tempo que leva entre o desprendimento do cascalho pela ação da broca de perfuração até o momento da sua chegada na superfície é extremamente importante e é conhecido como "lag time". Essa informação é crucial para a tomada de decisões sobre variáveis como a alteração na rotação da broca e também oferece informações mais precisas para a geologia sobre a litologia do poço. Nesse contexto, a pesquisa desenvolvida destaca o uso de traçadores fluorescentes em comparação com traçadores convencionais, que podem ser observados a olho nu ou com o auxílio de câmeras automatizadas para coleta mais precisa das informações de sua chegada. Neste estudo, foram realizadas uma série de caracterizações visando obter uma análise de melhor desempenho entre dois tipos de corantes (verde e laranja) em estudo. Tais pigmentos foram empregados utilizando a resina melamina-formaldeído (MF) como resina de cura para o estudo de pigmentos fluorescentes em diferentes cores, destinadas a aplicação de traçadores ópticos nas operações de monitoramento na etapa de perfuração de poços onshore. Para o presente estudo, foram realizados testes de espectroscopia no infravermelho e difração de raios X para analisar a estrutura dos pigmentos fluorescentes. A microscopia eletrônica de varredura e a distribuição de tamanho de partícula foram utilizadas para apresentar a morfologia dos pigmentos fluorescentes. Os espectros UV-vis e de fluorescência foram usados para demonstrar as propriedades ópticas. Pode-se concluir que os pigmentos laranja possuem uma estrutura mais consistente na resina MF, enquanto o pigmento verde pode ser o mais adequado para a preparação de traçadores ópticos do ponto de vista da fluorescência. Os resultados da análise termogravimétrica (TG) mostraram que todos os pigmentos apresentaram boa estabilidade térmica, indicando seu potencial de aplicação em poços de petróleo onshore, com possibilidade de expansão para poços offshore.

Palavras-chave: lag time, traçadores, onshore, mud logging.

Abstract

The use of fluorescent optical tracers in mud logging represents a significant advance, providing more accurate and safer measurements during onshore oil well drilling. This technology not only improves the operational efficiency and safety of drilling monitoring activities, but also aligns with the principles of the energy transition, promoting more sustainable and less invasive practices, thus reducing environmental impact. The incorporation of innovative monitoring methods in mud logging highlights a new scenario, where precise measurements and a reduced operating window are crucial to meet the demands of an evolving sector. Fluorescent pigments, based on the optical properties of dyes, are essential components of coatings for markers in various industrial applications, especially in the oil well drilling sector, with the purpose of providing precision in measuring the depth of the well during drilling. Knowing the time it takes between the detachment of the gravel by the action of the drill bit and the moment it arrives at the surface is extremely important and is known as "lag time". This information is crucial for making decisions about variables such as changes in drill rotation and also offers more accurate information for geology about the well's lithology. In this context, the research developed highlights the use of fluorescent tracers in comparison with conventional tracers, which can be observed with the naked eye or with the help of automated cameras to collect more accurate information on their arrival. In this study, a series of characterizations were carried out to obtain a better performance analysis between two types of dyes (green and orange) under study. Such pigments were used using melamine-formaldehyde resin (MF) as a curing resin for the study of fluorescent pigments in different colors, intended for the application of optical tracers in monitoring operations in the onshore well drilling stage. For the present study, infrared spectroscopy and X-ray diffraction tests were carried out to analyze the structure of the fluorescent pigments. Scanning electron microscopy and particle size distribution were used to present the morphology of the fluorescent pigments. UV-vis and fluorescence spectra were used to demonstrate the optical properties. It can be concluded that the orange pigments have a more consistent structure in the MF resin, while the green pigment may be the most suitable for the preparation of optical tracers from a fluorescence point of view. The results of the thermogravimetric (TG) analysis showed that all pigments presented good thermal stability, indicating their potential for application in onshore oil wells, with the possibility of expansion to offshore wells.

Keywords: lag time, tracers, onshore, mud logging.

Introdução

O mud logging é uma técnica essencial para a avaliação em tempo real de formações geológicas e a supervisão das atividades de perfuração. Tradicionalmente, esta técnica envolve a análise de cortes de perfuração e parâmetros de perfuração, bem como a análise de gás no fluido de perfuração.

O uso de traçadores ópticos fluorescentes no mud logging representa um avanço significativo nas atividades de acompanhamento da perfuração de poços de petróleo, em especial para o processo "cutting lag time". Esse termo se refere ao tempo que os cascalhos levam para retornar a superfície após serem arrancados pela broca de perfuração. Essa etapa é um dos principais fatores que afetam a perfuração de poços de petróleo e gás e, por essa importância, os traçadores ópticos vem trazendo um novo mecanismo para auxiliar no acompanhamento deste processo apresentando-se como uma tecnologia que aprimora a eficiência operacional e a segurança das atividades de acompanhamento de perfuração. [1][2]. Dessa forma, a introdução de traçadores fluorescentes aprimora significativamente esses processos, permitindo melhor visualização após retorno a superfície e possibilitando estabelecer a correlação da profundidade dos cortes de perfuração [1].

Os traçadores fluorescentes desenvolvidos para essa aplicação precisam ser compatíveis com a reologia do fluido de perfuração utilizado. Estudos recentes têm focado na investigação do efeito dos traçadores fluorescentes nas propriedades reológicas de fluidos de perfuração a base de óleo, determinando as quantidades ótimas de adição. Esses traçadores não apenas possuem limites de detecção baixos, mas também permitem a detecção automatizada em concentrações mínimas, aumentando a precisão da correlação de profundidade e otimizando a recuperação de hidrocarbonetos [2][3].

A implementação de métodos inovadores de monitoramento no mud logging destaca um novo cenário, onde medições precisas e uma janela de operação reduzida são cruciais para atender as demandas de um setor em evolução. Neste contexto, os pigmentos fluorescentes, baseados nas propriedades ópticas de corantes podem proporcionar maior precisão na medição da profundidade do poço durante sua perfuração. Conhecer o tempo que leva entre o desprendimento do cascalho pela ação da broca de perfuração até o momento da sua chegada na superfície, conhecido como "lag time", é crucial para a tomada de decisões operacionais e para fornecer informações precisas sobre a litologia do poço.

Em resumo, esta pesquisa visa descrever traçadores fluorescentes baseados em pigmentos sintéticos, identificando suas limitações para a aplicação a partir de

características como composição química, estabilidade térmica e compatibilidade com fluidos de perfuração.

Metodologia

Materiais de Partida

Foram utilizados Pigmentos Fluorescentes (Laranja e verde) doados pela empresa Otimiza Química com as seguintes composições químicas:

Pigmento laranja: Composição química - 1H-Benzimidazólio, 2-(7-(dietilamino)-2-oxo-2H-1-benzopiran-3-il)-1,3-dimetil-, cloreto (1:1), somada à composição do pigmento verde (C.I. Basic Red 1:1).

Pigmento Verde: Composição química - 1H-Benzimidazólio, 2-(7-(dietilamino)-2-oxo-2H-1-benzopiran-3-il)-1,3-dimetil-, cloreto (1:1).

Métodologia

A composição dos pigmentos em termos de fase cristalina foi avaliada a partir da análise de Difração de raio X (DRX) realizada em Difrátômetro Shimadzu modelo 7000 com fonte de radiação de cobre com varredura. As morfologias e dimensões dos pigmentos foram analisados por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de Campo (MEV-FEG), enquanto que análises térmicas de Termogravimetria (TGA) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foram utilizadas para descrever a estabilidade/integridade dos pigmentos em condições de aquecimento sendo realizadas sob uma taxa de aquecimento de 10°C/min até a temperatura de 400°C e atmosfera de nitrogênio. Por fim a análise de Espectroscopia de UV-visível (UV-Vis) foi utilizada para caracterizar as propriedades ópticas dos pigmentos.

Resultados e Discussão

Difração de Raios X (DRX)

Os resultados de difração de raios X dos pigmentos são mostrados na Figura 1. Foi possível observar perfis de resposta típico de materiais amorfos.

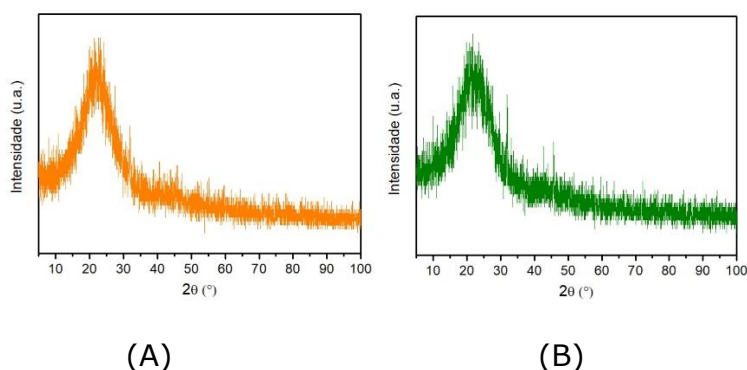


Figura 1: Difrátogramas das amostras (A) pigmento laranja (B) pigmento verde

Microscopia Eletrônica de Varredura com Emissão de campo (MEV-FEG)

As imagens de microscopia eletrônica de varredura podem ser visualizadas na Figura 2 abaixo.

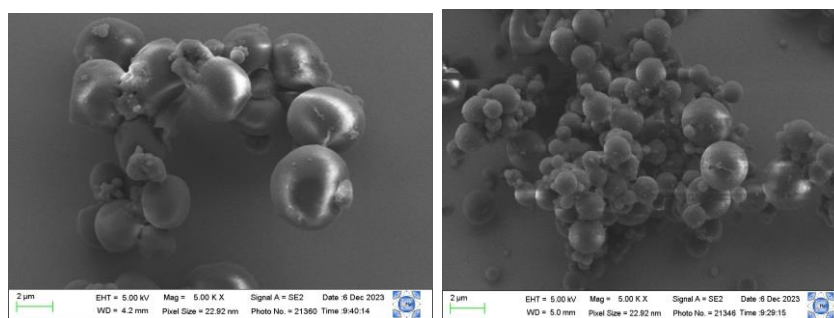


Figura 2: Micrografias dos pigmentos (A) laranja e (B) verde.

As imagens mostram partículas aproximadamente esféricas para ambas amostras, além de baixa agregação apesar de moderada aglomeração, sendo ambas também de aspecto liso em sua superfície. Os pigmentos laranjas apresentam maior tamanho de partícula ($\sim 2\mu\text{m}$) e maior uniformidade quando comparados aos verdes, que por sua vez parece apresentar uma distribuição com dois tamanhos médios frequentes ($\sim 1,5\mu\text{m}$ e $0,8\mu\text{m}$).

ANÁLISE UV-VIS

O espectro UV-Vis do pigmento fluorescente laranja da Figura 3 mostra uma forte absorção entre 200-300 nm, típica de transições $n-n^*$ em sistemas conjugados ou transições $n-n^*$ em grupos carbonílicos e oxigenados. Após 300 nm, a absorção diminui significativamente, indicando que as principais transições eletrônicas ocorrem abaixo dessa faixa. Na região visível (400-800 nm), a absorção é baixa e

constante, sugerindo que o pigmento reflete predominantemente essa luz, resultando na cor laranja percebida. A forte absorção no UV sugere que o pigmento pode ser excitado eficientemente com luz UV, potencialmente resultando em emissão fluorescente na região visível, embora a fluorescência não possa ser confirmada apenas pelo espectro de absorção.

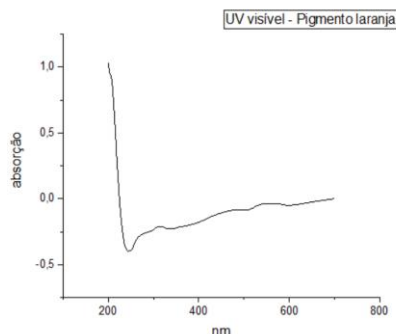


Figura 3: Espectroscopia de absorção UV/Vis do pigmento laranja.

Análises térmicas

A Figura 4 mostra as curvas de TGA e DSC do pigmento laranja.

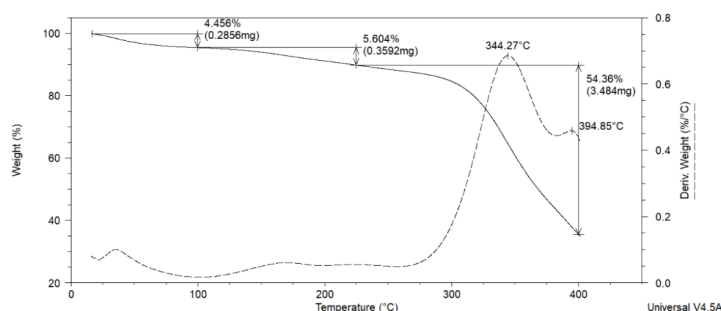


Figura 4: TGA/DSC do pigmento laranja

Os resultados de TGA e DSC do pigmento laranja mostram três principais perdas de massa. A primeira, de 4,456% entre 0-100°C, é devida à desidratação. A segunda, de 5,604% entre 100-200°C, sugere a decomposição de componentes voláteis. A terceira, de 54,36% entre 300-400°C, indica a degradação térmica dos componentes orgânicos principais. No DSC, há um pico exotérmico em 344,27°C, correlacionado com a maior perda de massa, indicando decomposição com liberação de calor, e outro evento térmico em 394,85°C, possivelmente uma segunda fase de decomposição ou oxidação de resíduos.

O aumento na energia cinética do etanol proporciona a presente desidratação. Nessa reação uma molécula de água é removida, resultando na formação do eteno (C_2H_4) e água (H_2O). A perda de massa entre a primeira e a segunda decomposição pode estar associada a água parcial da resina, enquanto que perda de massa próxima aos $400^\circ C$ indica a remoção de grupos hidroxilas indicando que a estrutura da resina melamina formaldeído foi destruída, ocorrendo portanto, degradação total do pigmento. Ambos os pigmentos apresentam boa estabilidade térmica, apresentando potencial para uso em fluidos de perfuração em temperaturas comuns a poços de petróleo onshore.

Conclusões

Este estudo avaliou pigmentos fluorescentes laranja e verde para mud logging. A DRX mostrou perfis amorfos, e a MEV-FEG revelou partículas esféricas. O pigmento laranja apresentou maior uniformidade. O espectro UV-Vis indicou forte absorção entre 200-300 nm. A TGA/DSC identificou perdas de massa por desidratação e degradação térmica. Ambos os pigmentos são termicamente estáveis e adequados para fluidos de perfuração. Traçadores fluorescentes baseados nesses pigmentos podem melhorar a precisão do "cutting lag time" e a recuperação de hidrocarbonetos.

Agradecimentos

Agradecimento ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo (PRH-ANP) pela oportunidade de participar da bolsa concedida e financiada pela FINEP. Agradecimento as empresas Otimiza Química e Megaflon pela doação dos materiais de partida utilizados nos estudos da pesquisa. Agradecimento a Geowellex do Brasil pela mentoria, disponibilidade e parceria durante a execução do projeto e de seu desenvolvimento.

Referências Bibliográficas

- [1] Khmelnitskiy, V.; Alqahtani, H.S.; Kwak, H.; Solovyeva, V. The Development of Advanced Fluorescent Tracers Aimed at Drill Cuttings Labelling and Depth Correlation via Injection with Oil-Based Drilling Mud. Processes 2023, 11, 3197. <https://doi.org/10.3390/pr11113197>.
- [2] Khmelnitskiy, V.; AlJabri, N.; Solovyeva, V. Preparation and Selection of Best-Performing Fluorescent-Based Tracers for Oil and Gas Downhole Applications. Processes 2022, 10, 1741. <https://doi.org/10.3390/pr10091741>.
- [3] Jie Du; Yang, R.; Fang, C.; Zhou, X.; Pan, S.; Lei, W.; Su, J.; Cheng, Y.; Liu, D. Preparation and characterization of organic pigments and their fluorescence properties depending on bulk structure. Journal of Materials Science & Technology. Volume 34, Issue 11, 2018, Pages 2218-2224, ISSN 1005-0302, <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.05.017>.