Gestão:

Reunião de Acompanhamento e Avaliação - RAA 2026

AVALIAÇÃO DA SINERGIA ENTRE ARGILA ORGANOFÍLICA E CERA DE CARNAÚBA NO DESENVOLVIMENTO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO NÃO AQUOSOS DE BAIXA DENSIDADE

prh anp 21/UTFPR

COSTA, M. V. P.[1]; NEGRÃO, C. O. R.[2];
[1]Bolsista do PRH-ANP (02/2024), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais, Curitiba – PR. E-mail: pereira.marcos92@gmail.com
[2]Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR. E-mail: negrao@utfpr.edu.br

INTRODUÇÃO

A exploração de reservatórios depletados e com janela de pressão estreita exige fluidos de perfuração de baixa densidade.

- **Custo:** fluidos representam 15–18% do custo total da perfuração (Hossain; Al-Majed, 2015; Abdullah et al., 2022).
- **Meta:** 0,72 g/cm³, abaixo da faixa usual dos fluidos não aquosos leves (0,8–1,0 g/cm³).
- **Desafio:** a estabilidade da suspensão com microesferas ocas de vidro depende da reologia.
- **Lacuna:** em fluidos não aquosos, predominam as argilas organofílicas e há poucos aditivos naturais testados.
- **Proposta:** cera de carnaúba (planta nativa do Brasil) + argila organofílica.

OBJETIVOS

Geral: avaliar a associação cera de carnaúba + argila organofílica como modificadores reológicos de fluidos não aquosos de base olefínica a 6 ppg (≈0,72 g/cm³).

Específicos:

1. Selecionar o aditivo natural e a argila mais compatíveis com a α-olefina;
2. Formular fluidos leves com microesferas ocas de vidro e avaliar reologia e estabilidade;
3. Avaliar a sinergia cera–argila (modelo de Scheffé);
4. Avaliar o efeito da concentração total;
5. Analisar estatisticamente os resultados reológicos.

METODOLOGIA

1. Seleção de aditivos
3 ceras e lanolina
3 argilas organofílicas
Fase contínua: α-olefina
Escoamento a 25 e 65 °C

→

2. Fluido leve (6 ppg)
Microesferas ocas de vidro
HGS-1 a 3: cera + argila
HGS-4: sem cera
Reologia a 4, 25 e 65 °C
Estabilidade: até 35 dias

→

3. Matriz de sinergia
MS-1 a MS-7
30 lb/bbl; cera de 0 a 100%
Viscosidade e G′ (RVL)
4, 25, 65 e 85 °C
Scheffé (α = 5%)

→

4. Matriz de concentração
MF-1 a MF-4
10 e 15 lb/bbl
33% e 50% de cera
Escoamento e varredura de amplitude

Caracterização: MEV, DSC, TGA, FRX e FTIR • **Reologia:** Anton Paar® MCR 502, placas ranhuradas • **Densidade:** picnômetro

RESULTADOS E DISCUSSÃO

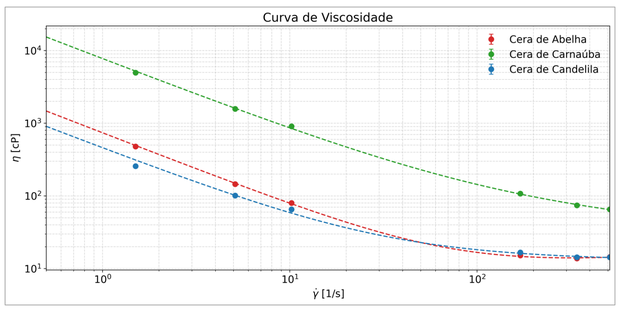


Figura 1 – Curvas de viscosidade das formulações preparadas com diferentes ceras (abelha, candelila e carnaúba)
Fonte: Autoria própria (2026).

Carnaúba: tensão limite **5 a 10× maior** que a das demais ceras.

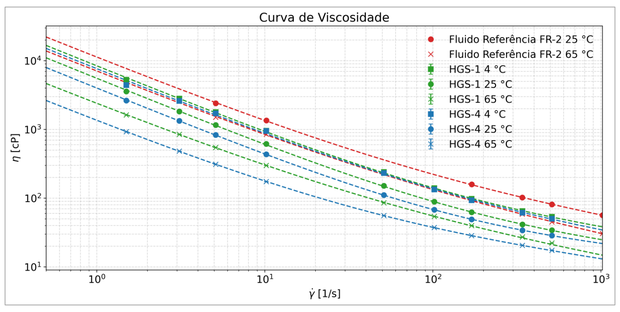


Figura 2 – Curva de viscosidade dos fluidos HGS-1 e HGS-4 e do fluido de referência FR-2 a 4, 25 e 65 °C
Fonte: Autoria própria (2026).

Com cera (HGS-1), **menor sensibilidade térmica** que sem cera (HGS-4).

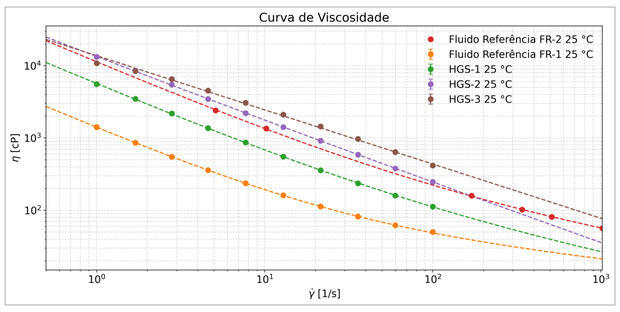


Figura 3 – Curva de viscosidade dos fluidos HGS-1, HGS-2 e HGS-3 e dos fluidos de referência (FR-1 e FR-2) a 25 °C
Fonte: Autoria própria (2026).

Viscosidade cresce com a concentração: **HGS-3 > HGS-2 > HGS-1**.

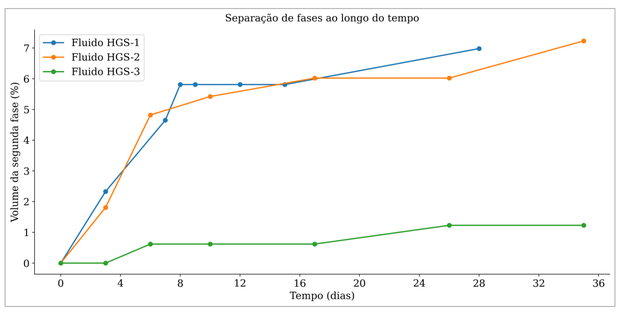


Figura 4 – Teste de estabilidade estático dos fluidos HGS-1, HGS-2 e HGS-3
Fonte: Autoria própria (2026).

HGS-3: 0,6–1,2% de separação em 35 dias, ante 7,0–7,2% em HGS-1/HGS-2.

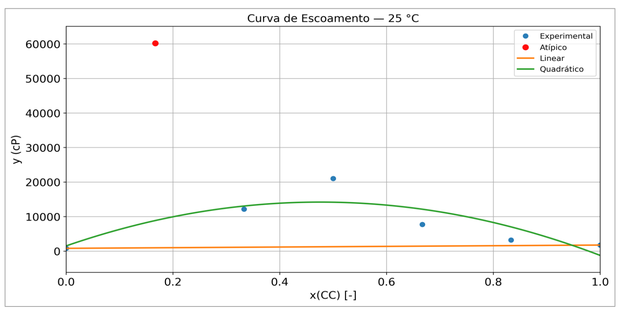


Figura 5 – Ajuste do polinômio de Scheffé quadrático — viscosidade aparente (γ̇ = 1 s⁻¹) a 25 °C
Fonte: Autoria própria (2026).

Viscosidade a 25 °C: **tendência sinérgica**, sem significância (p = 0,081).

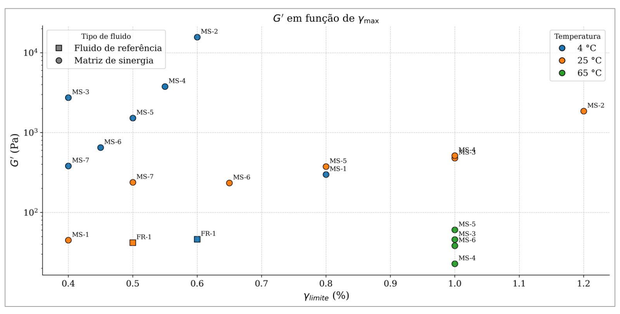


Figura 6 – Módulo de armazenamento G′ (RVL) em função da deformação-limite γlimite — fluidos da matriz de sinergia (MS-1 a MS-7) e fluido de referência FR-1
Fonte: Autoria própria (2026).

Cera + argila (MS-2 a MS-6): **G′ acima do FR-1**; máximo em MS-2 a 4 °C.

- **Sinergia:** confirmada para G′ a 25 °C (p = 0,039); antagonismo na viscosidade a 65 e 85 °C.
- **Matriz de concentração:** de 10 para 15 lb/bbl, viscosidade e G′ aumentaram, sobretudo a 25 °C.
- **Mecanismo (DSC, TGA, FTIR e FRX):** interação cera–argila predominantemente física, sem reação química.

CONCLUSÕES

- A associação cera de carnaúba + argila organofílica é **viável** para fluidos não aquosos de 6 ppg, com reologia adequada e estabilidade (HGS-3).
- O desempenho depende da **temperatura**, da **razão cera/argila** e da **concentração total**.
- A cera forma domínios cristalinos termorreversíveis e a argila, partículas lamelares: interação física e reversível, com sinergia estatística apenas para o módulo elástico a 25 °C, outras propriedades apresentaram tendência de sinergia.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP sob gestão da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil, através do processo nº 2025/17510-9.