Encontro Nacional do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP - 2026

Avaliação do uso de ultrassom em sistema de fluxo contínuo para o tratamento de água com petróleo

Orientadora: Paola de Azevedo Mello

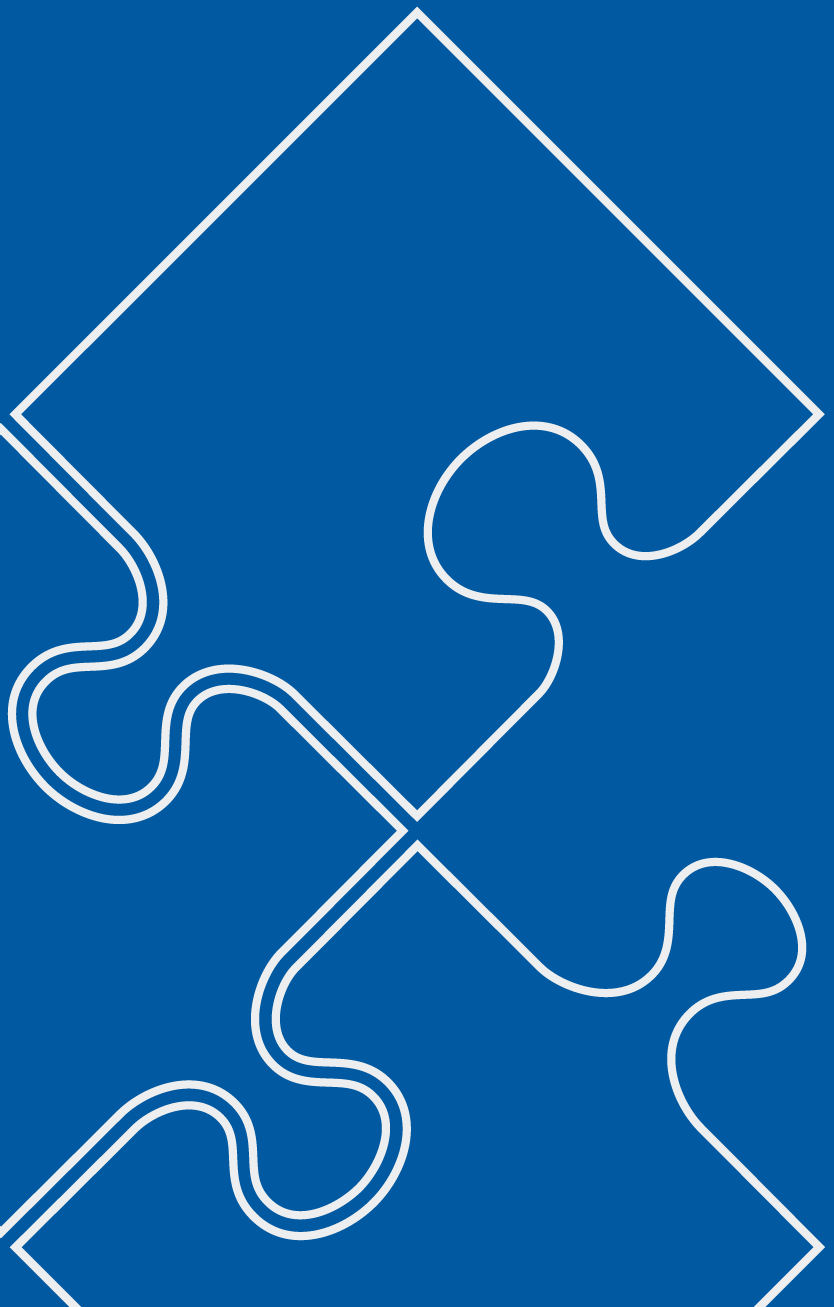
Discente: Pedro Filipi de Oliveira Batista

PRH 52/UFSM

Bolsista de Graduação

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Gestão:



1.

Contextualização e proposta

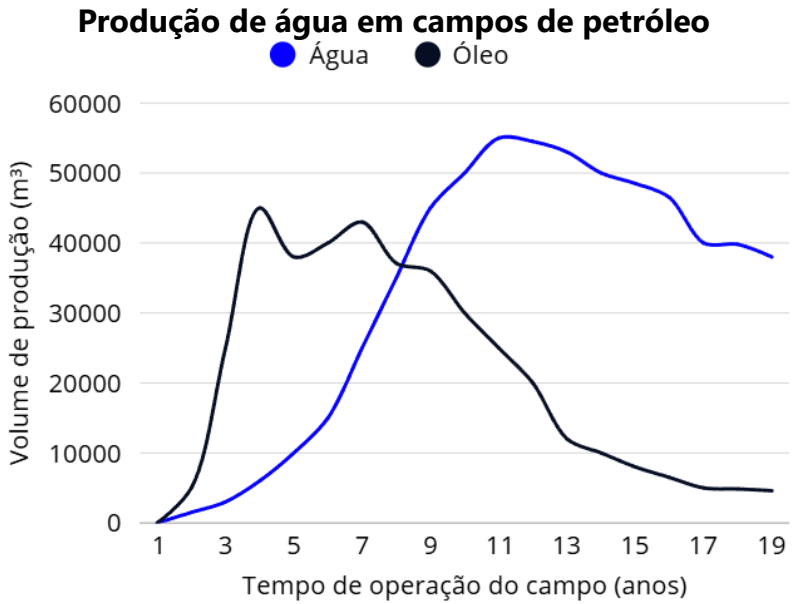
Água produzida e o gargalo ambiental

- Efluente gerado em maior volume durante extração de petróleo e gás natural

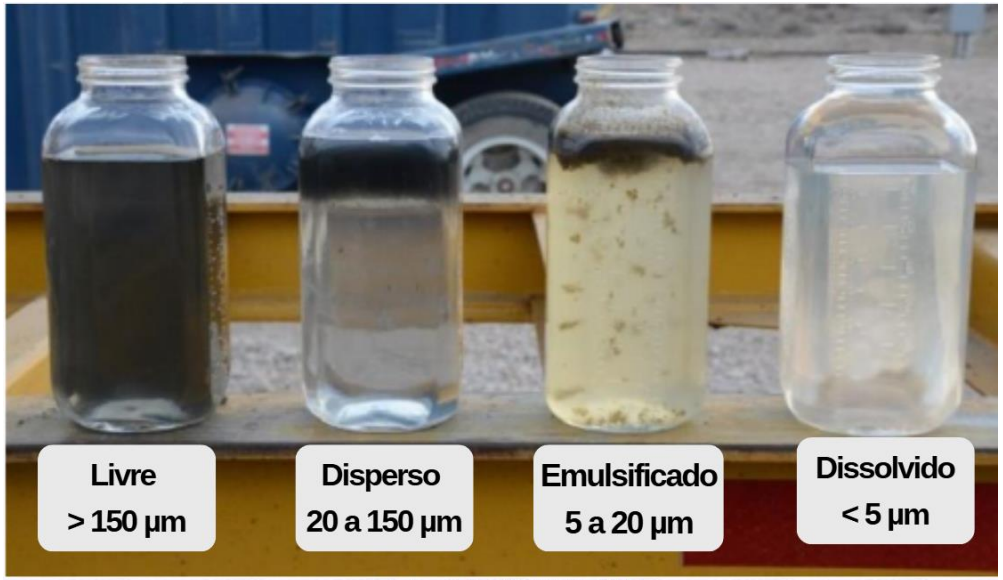
- Gera emulsões complexas do tipo óleo-em-água (O/A)
  - Nocivas para equipamentos e meio ambiente.

- A resolução CONAMA nº 393/2007 → 29 mg L^{-1} para óleos e graxas (TOG).

- Métodos convencionais apresentam limitações para tratar emulsões com diâmetro de gotas inferior a **10 µm.**



Fonte: Adaptado de NATURE TECHNOLOGY SOLUTION, 2010



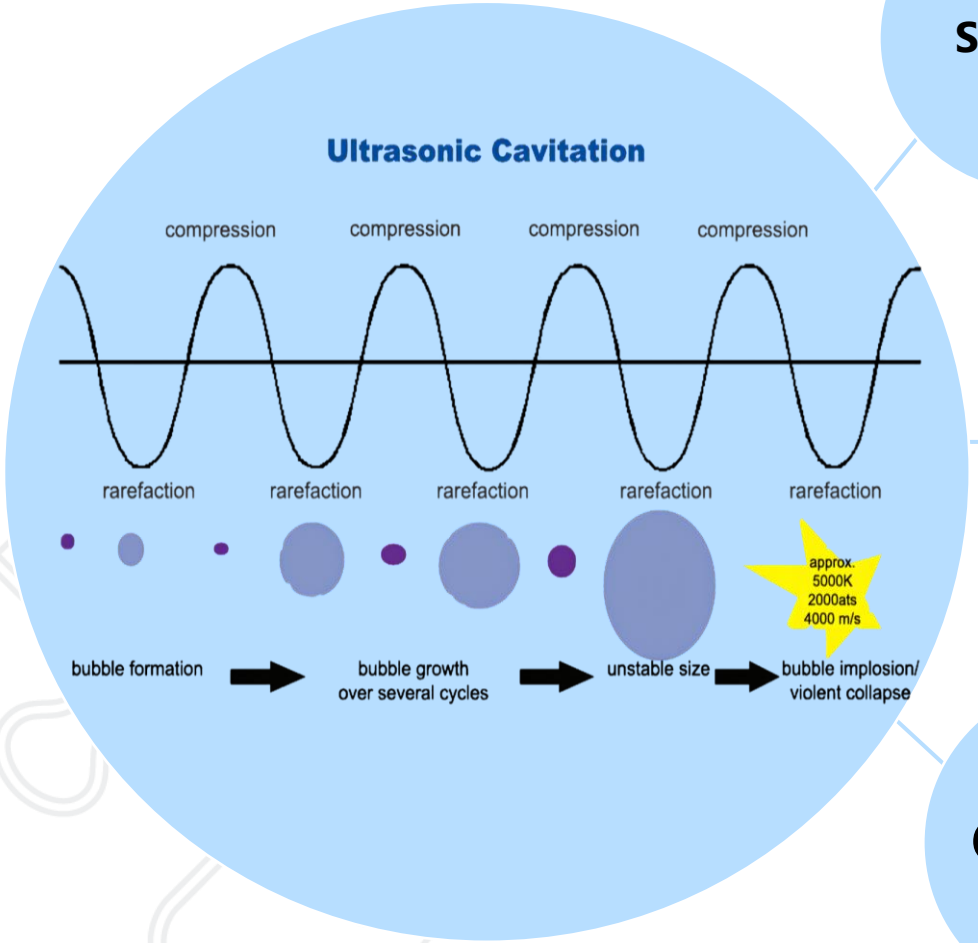
Fonte: GALLAGHER, 2014.

JOSÉ, A. et al. Oil/Water Mixtures and Emulsions Separation Methods — An Overview. 2023.

Proposta e diferencial

Solução

- **Tratamento por ultrassom.**
- Alternativa limpa (reduz/elimina químicos).



Mecanismo

- **Cavitação acústica** → implosão de microcavidades.
- Geração de **microjatos** e ondas de choque.
- Ruptura do filme interfacial.
- **Coalescência** das gotas de óleo.

Objetivo

- Avaliar a integração a um **reator em fluxo contínuo,** para o tratamento de água produzida com foco na redução de TOG.
- Superar as limitações dos estudos em batelada.

Mohsin & Meribout, 2014 – Oil-water de-emulsification via ultrasound. | Shan et al., 2024 – Ultrasonic treatment of produced water.

Proposta e diferencial

Solução

- **Tratamento por ultrassom.**
- Alternativa limpa (reduz/elimina químicos).

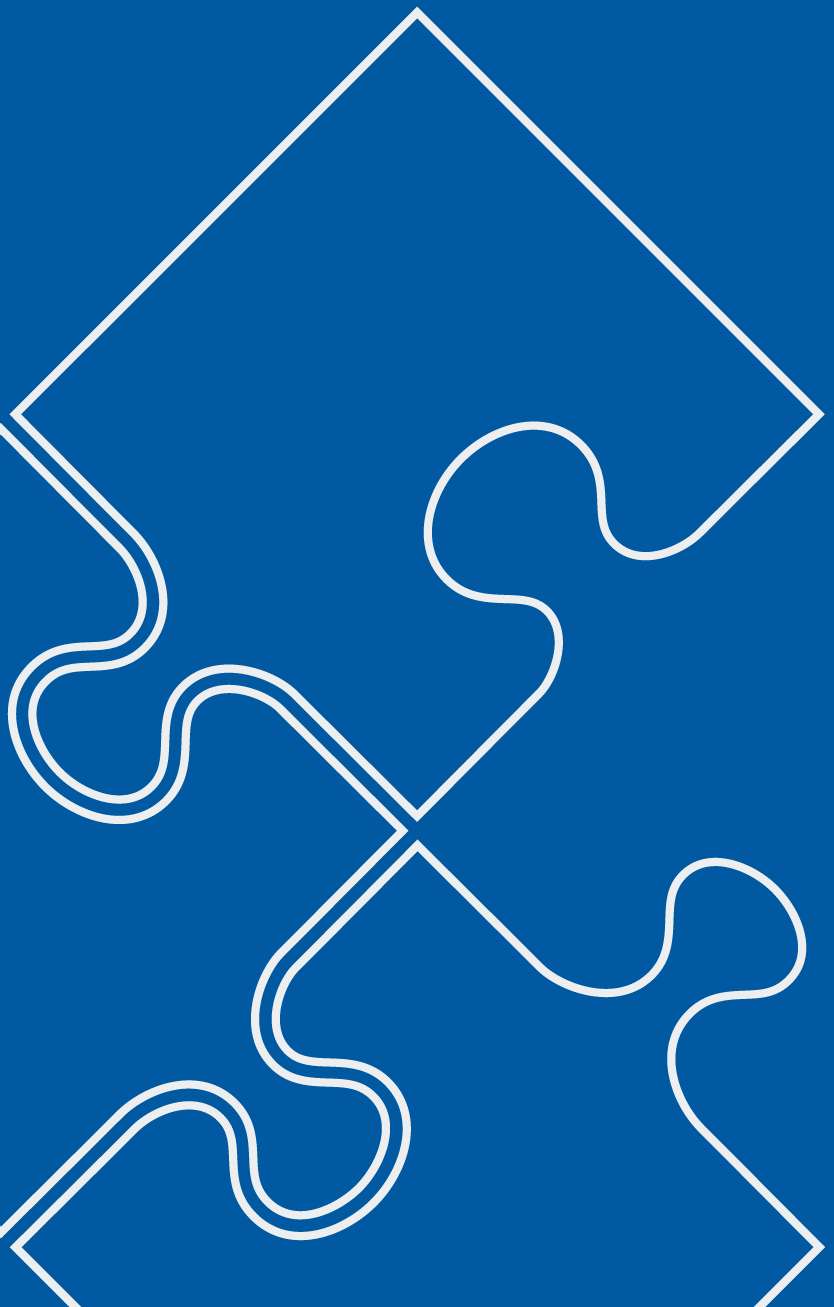
Mecanismo

- **Cavitação acústica** → implosão de microcavidades.
- Geração de **microjatos** e ondas de choque.
- Ruptura do filme interfacial.
- **Coalescência** das gotas de óleo.

Objetivo

- Avaliar a integração a um **reator em fluxo contínuo,** para o tratamento de água produzida com foco na redução de TOG.
- Superar as limitações dos estudos em batelada.

Mohsin & Meribout, 2014 – Oil-water de-emulsification via ultrasound. | Shan et al., 2024 – Ultrasonic treatment of produced water.



2.

Metodologia experimental

Metodologia experimental

1 FORMULAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA



Preparo da salmoura

KCl $NaCl$ $NaHCO_3$
$SrCl_2$ $MgCl_2$ Na_2SO_4
$CaCl_2$ NH_4Cl

Petróleo + Surfactante



Ultra agitação

4000 rpm

30 minutos



Sonificação

Sonda 750 W
50% amplitude
30 minutos



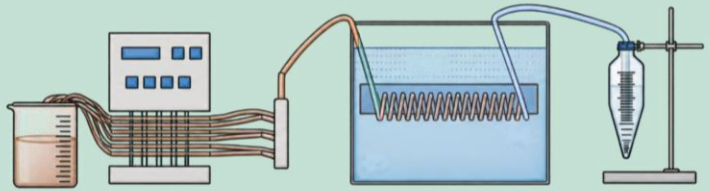
Filtragem e armazenamento

2 REATOR COM ULTRASSOM



Banho de ultrassom

Avaliação de parâmetro do processo



37 ou 80 kHz

Amplitude

Tempo

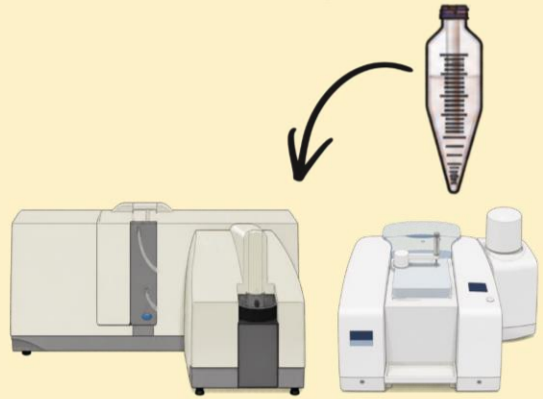
Temperatura

Avaliação para diferentes emulsões/petróleo

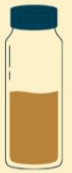


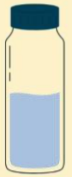
3 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE

Caracterização



Água produzida/tratada





- ✓ Teor de cloretos
- ✓ Teor de óleos e graxas
- ✓ Densidade
- ✓ Condutividade
- ✓ Salinidade
- ✓ Turbidez
- ✓ Cor
- ✓ pH

Metodologia experimental

1 FORMULAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA



Preparo da salmoura

KCl $NaCl$ $NaHCO_3$
$SrCl_2$ $MgCl_2$ Na_2SO_4
$CaCl_2$ NH_4Cl

Petróleo + Surfactante



Ultra agitação

4000 rpm

30 minutos



Sonificação

Sonda 750 W
50% amplitude
30 minutos



Filtragem e armazenamento

2 REATOR COM ULTRASSOM

Concentrações (g L^{-1})			
9,6 NaCl	2,3 $MgCl_2$	0,6 Na_2SO_4	0,07 $NaHCO_3$
14,7 $CaCl_2$	0,3 KCl	0,02 NH_4Cl	0,17 $SrCl_2$

Petróleo → 0,3 g L^{-1}

Surfactante → 0,06 g L^{-1}

Avaliação de parâmetro do processo

Avaliação dos parâmetros experimentais

- Diâmetro de gota de óleo → estabilidade e eficiência
- Características físico-químicas → literatura

Avaliação para diferentes emulsões/petróleo

3 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE

Caracterização

atada

- ✓ Teor de cloretos
- ✓ Teor de óleos e graxas
- ✓ Densidade
- ✓ Condutividade
- ✓ Salinidade
- ✓ Turbidez
- ✓ Cor
- ✓ pH

Metodologia experimental

1 FORMULAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA

Preparo da salmoura

KCl $NaCl$ $NaHCO_3$
$SrCl_2$ $MgCl_2$ Na_2SO_4
$CaCl_2$ NH_4Cl

Avaliação dos parâmetros experimentais

- Diâmetro de gota de óleo → Comportamento
- Teor de Óleos e Graxas

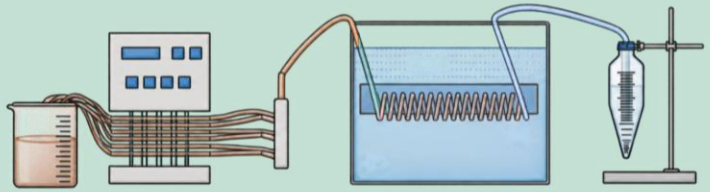
Sonificação
Sonda 750 W
50% amplitude
30 minutos

Filtragem e armazenamento

2 REATOR COM ULTRASSOM

Banho de ultrassom

Avaliação de parâmetro do processo



37 ou 80 kHz — Amplitude

Tempo — Temperatura

Avaliação para diferentes emulsões/petróleo



3 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE

Caracterização

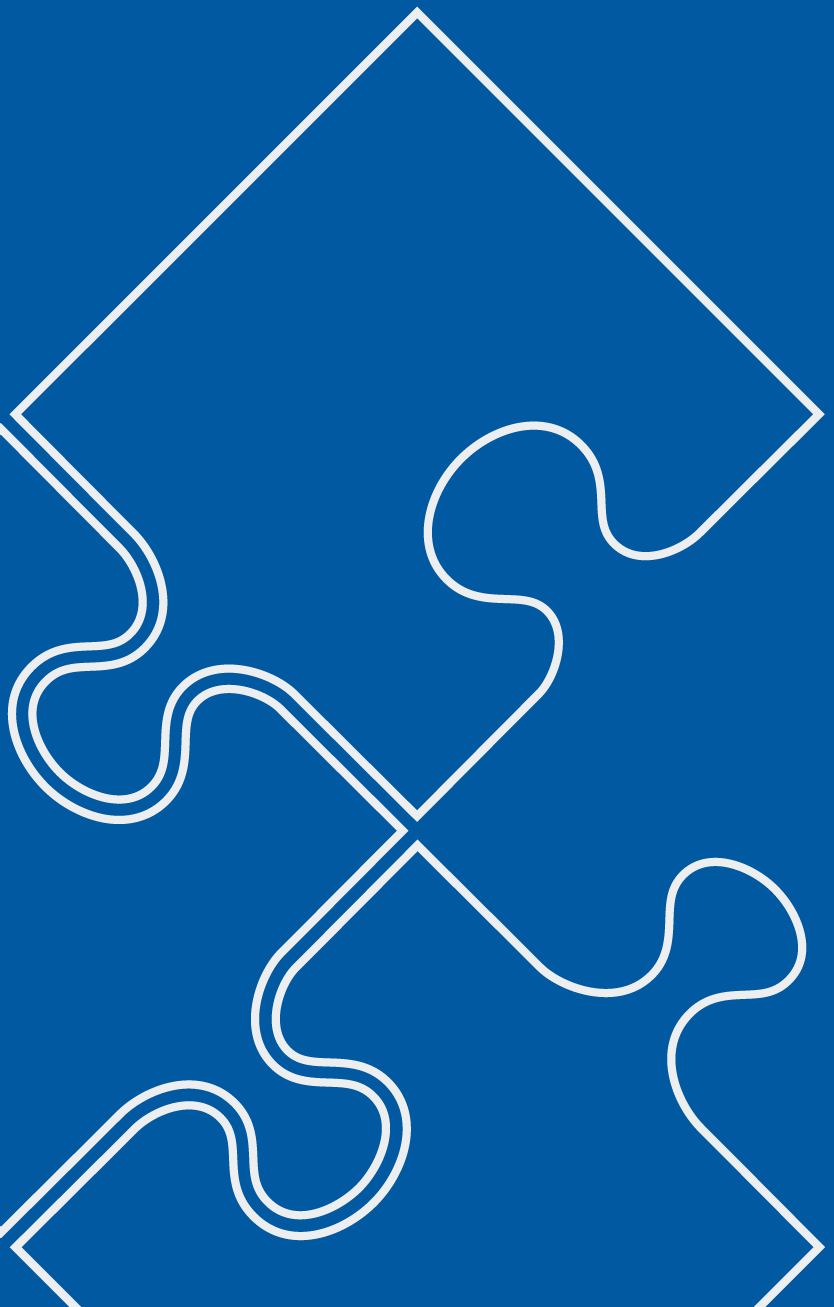
Otimização dos parâmetros

Tempo → 5, 10, 15 e 20 min

Temperatura → 25, 30 e 40 °C

Amplitude → 30 à 100%

- ✓ Teor de cloretos
- ✓ Teor de óleos e graxas
- ✓ Densidade
- ✓ Condutividade
- ✓ Salinidade
- ✓ Turbidez
- ✓ Cor
- ✓ pH

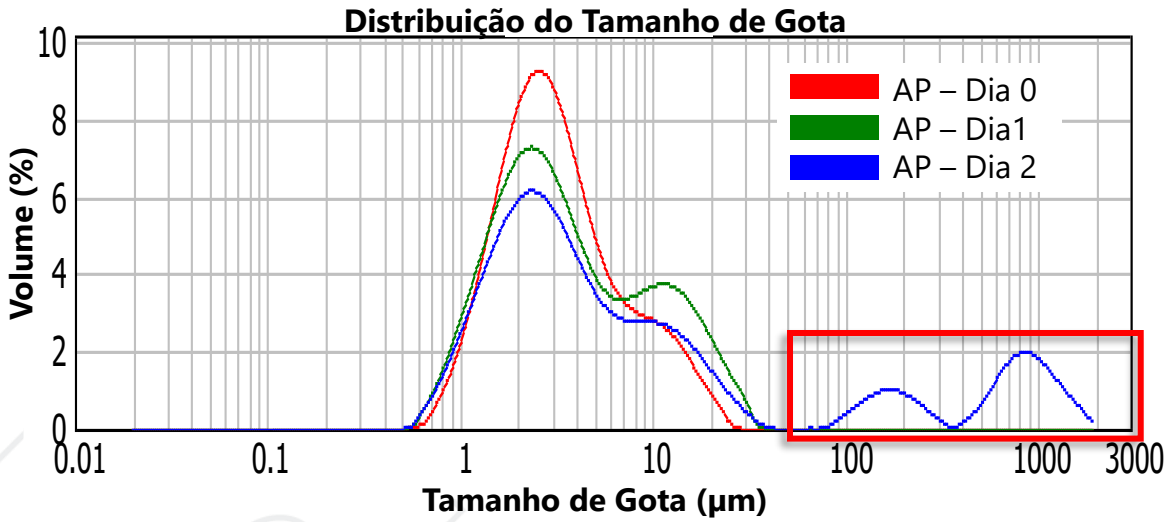


3.

Resultados preliminares

Resultados - caracterização da emulsão sintética

1 FORMULAÇÃO DE ÁGUA PRODUZIDA



Sinal intenso entre 2 e 3 µm - Perfil adequado de microgotas para o tratamento

Condições experimentais: 0,03% de petróleo + 0,06 g L^{-1} de surfactante, 4000 rpm por 30 min em ultra agitação, seguido da sonicação em sonda de ultrassom de 750 W, 20 kHz, 50% de amplitude, por 30 min.

Parâmetros Físico-Químicos

Parâmetro	Emulsão sintética	Faixa estimada*
pH	7,2	7,0 – 8,0
Cloreto (g L^{-1})	12,4	2,0 – 47,0
Condutividade (mS cm^{-1})	22,1	10,0 – 150,0
Salinidade (g L^{-1})	22,4	5,0 – 80,0
Densidade (g $cm^{-3)}$	1,01	0,99 – 1,03
Turbidez (NTU)	110	100 - 250

*Faixa estimada com base em literatura e artigos [Moraes (2005), Luiz (2020), Carvalho (2011)]

Resultados - desenvolvimento do sistema

2 REATOR COM ULTRASSOM



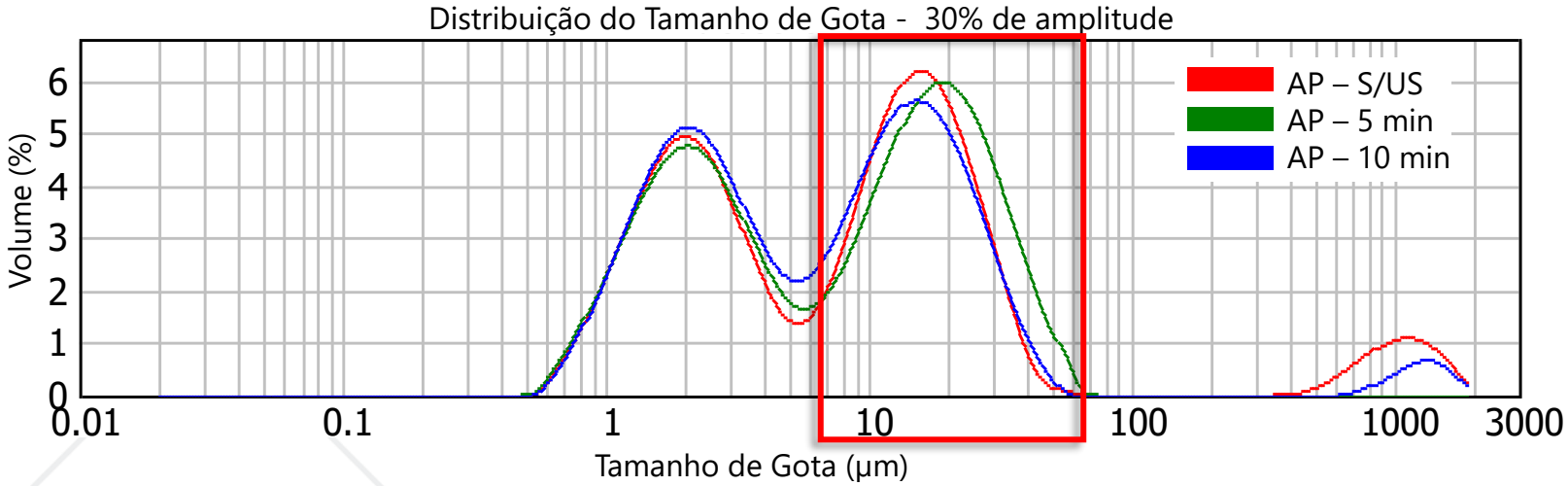
Reator – Tubo PVC ¼’ em espiral para aumentar o tempo de permanência



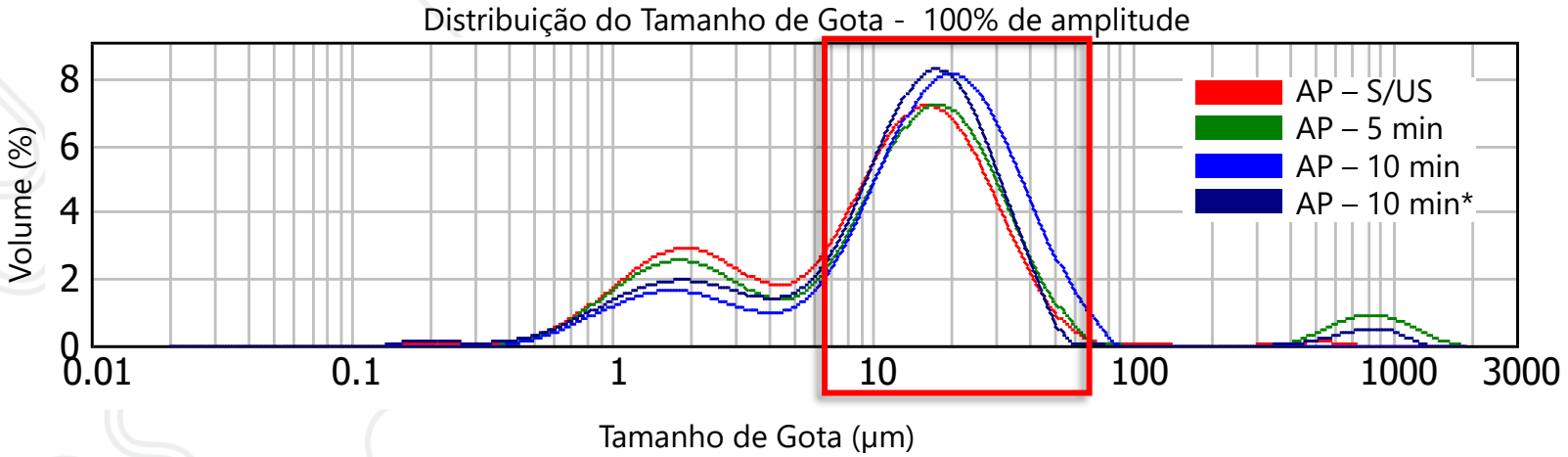
Sistema em Fluxo - Montagem estrutural concluída e em fase final de otimização de parâmetros.

Resultados - ação do ultrassom e coalescência

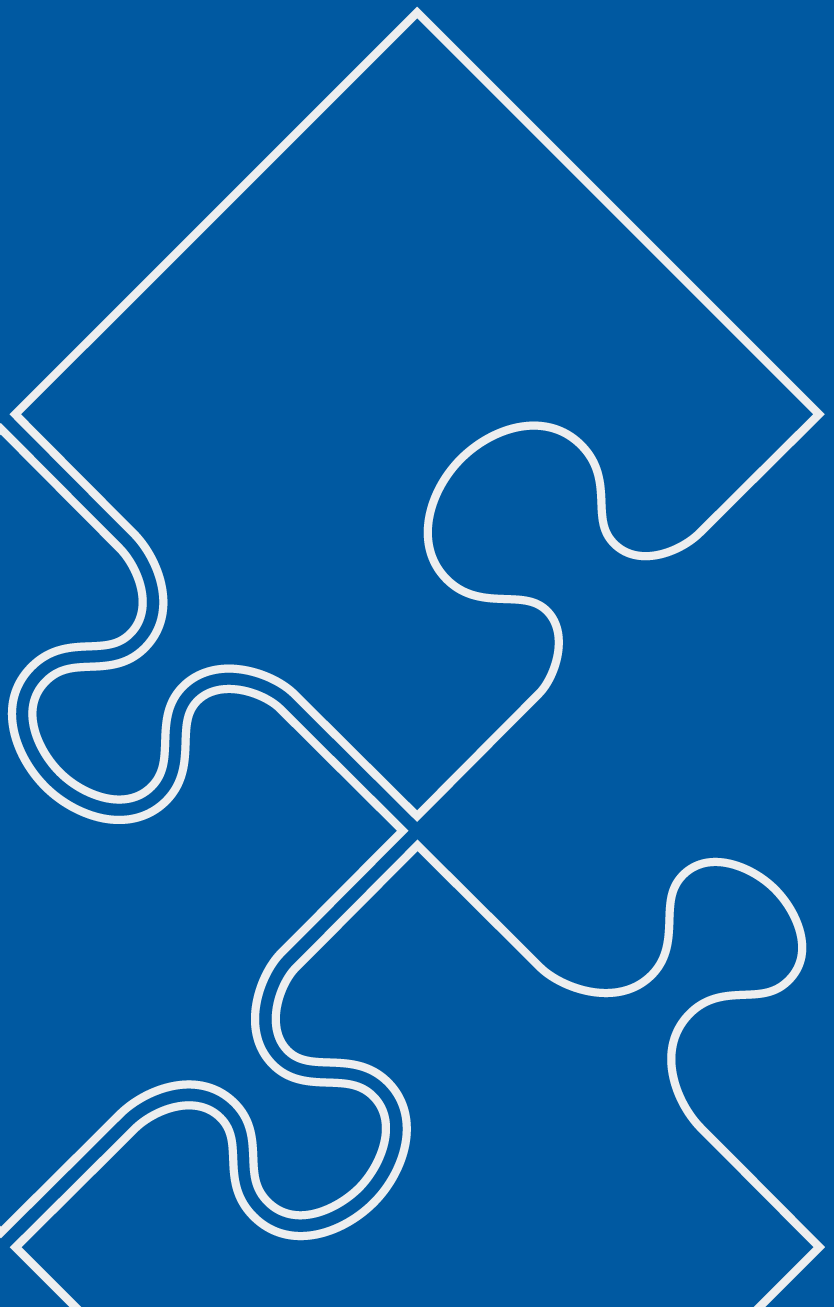
2 REATOR COM ULTRASSOM



Comparativo de amplitude
100% > 30%



Formação de **película transparente** superior na amostra a 100%, indicando ruptura efetiva da emulsão.



4.

Próximos passos e perspectivas

Conclusão

A estabilidade da emulsão O/A sintetizada em bancada e a coalescência efetiva das gotículas validam a transição promissora para o reator em fluxo contínuo.

Perspectivas futuras

Executar os ensaios no reator em fluxo contínuo.

Avaliar a eficiência quantitativa da remoção de óleo (redução do TOG).

Avaliar a robustez do reator de fluxo contínuo ao processar emulsões com características variadas.

Pedro Filipi de Oliveira Batista

Email: pedrofilipi.oliveira.ismart@gmail.com

Linkedin: Pedro Filipi de Oliveira Batista


prh anp


anp
Gestão:
FAPESP