ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	Revisão Original
H	Revisão geral na ordem numérica dos itens. Inclusão no item 4.1 (preparo da salmoura de teste) da conversão da concentração de ácidos orgânicos em acetato equivalente. Disponibilização de planilha com memória de cálculo para o preparo das salmouras (Anexo B). Revisão do texto no item 4.2 (ajuste de pH), no item 5.2 (critério de aprovação do teste de eficiência estática, no item 6.1 (Tabela III - Características do sistema PDC do teste de eficiência dinâmica) e no item 6.2 (compatibilidade dinâmica). Inclusão do método Hyamine (Anexo A) e possibilidade de método alternativo indicado pelo fornecedor para rastreamento do residual do inibidor de incrustação (item 7). Revisão do texto do critério de aprovação (item 9).
C	Correção do critério de aceitação dos itens 4 e 5. Melhoria do texto do item 7.
D	Revisão do texto nos itens 2.2, 5, 6.2 e 6.3
E	Alteração da tolerância de ajuste de pH no item 2.2. Revisão do item 5 para inclusão de opção de tempo de obtenção do branco, exclusão da nota 1, revisão da Tabela II e alteração do texto de ensaio opcional.
F	Revisão do texto do item 2.2 (tolerância pH ± 0,2 para ± 0,05). Inclusão do item 6 e ajuste na numeração dos itens seguintes.
G	Redução do volume de amostra para 500 mL (item 1). Revisão do item 2: “rearranjo da ordem das salmouras de teste”, “ajuste de pH” e revisão da tolerância de pH da água de ânions sem bicarbonato e sulfato no item 2.2 c. Criação do item "análises estáticas", agrupando os ensaios de eficiência e compatibilidade estáticas. Criação do item "análises dinâmicas", agrupando os ensaios de eficiência e compatibilidade dinâmicas. Revisão do Item 3.1: reorganização da Tabela I, inclusão da avaliação de “cor” e da norma ASTM D7315. Revisão da descrição do capilar de teste da Tabela II (item 4.1). Revisão da tabela III (item 6.1). Inclusão de exemplo de apresentação de resultados de compatibilidade dinâmica (Fig. 7). Criação do item 8. Ajuste geral na numeração dos itens, figuras e sumário. Atualização do formulário da ET segundo norma PETROBRAS N-0381 rev. M.

	REV. F	REV. G	REV. H	REV. C	REV. D	REV. E
DATA	13/04/2022	17/10/2022	24/08/2023	21/07/2020	09/09/2021	17/12/2021
EXECUÇÃO	BE3W	B97J	B97J, CTRV	B97J	BD4G	B97J
VERIFICAÇÃO	EK6A	BE3W	BD4G, BE3W	EK6A	B97J	CTRS
APROVAÇÃO	CJCL	CJCL	CJCL	CJCL	CJCL	CJCL

DE ACORDO COM A DI-1PBR-00337, AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.
FORMULÁRIO PADRONIZADO PELA NORMA PETROBRAS N-381-REV.M.

Sumário

1. Introdução 3

2. Referências normativas 3

3. Requisitos iniciais 3

4. Preparo das salmouras de teste e ajuste de pH 4

4.1. Preparo das salmouras de teste 4

4.1.1. Água de cátions 4

4.1.2. Água de ânions completa 4

4.1.3. Água de ânions, sem bicarbonato e sulfato 5

4.2. Ajuste do pH 6

4.2.1. Água de cátions 6

4.2.2. Água de ânions completa 6

4.2.3. Água de ânions, sem bicarbonato e sulfato 7

5. Análises estáticas 7

5.1. Teste de compatibilidade estática 7

5.2. Teste de eficiência estática 8

6. Análises dinâmicas 8

6.1. Eficiência dinâmica 9

6.2. Compatibilidade dinâmica 11

7. Demostração da viabilidade de determinação do residual do inibidor 11

8. Apresentação dos resultados 12

8.1. Apresentação dos resultados de compatibilidade estática 12

8.2. Apresentação dos resultados da eficiência estática 13

8.3. Apresentação dos resultados dinâmicos 14

8.4. Apresentação da demonstração da viabilidade de determinação do residual do inibidor 15

9. Critério de aprovação 16

Anexo A - Método do Hyamine 1622 17

Anexo B - Memória de cálculo para auxiliar no preparo das salmouras 22

1. INTRODUÇÃO

Este documento define os requisitos de qualificação de inibidor de incrustação para aplicação em sistemas de injeção química em unidades de produção com dosagem nas instalações de superfície e/ou nos poços produtores.

2. REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Os documentos relacionados a seguir são citados no texto e contêm prescrições válidas para a presente especificação técnica.

ABNT NBR 14725-3	Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 3: Rotulagem;
ABNT NBR 14725-4	Produtos químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: Ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ);
ABNT NBR 7353	Soluções aquosas - Determinação do pH com eletrodos de vidro;
ASTM D1293	*Standard Test Methods for pH of Water*;
ASTM D1976	*Standard Test Method for Elements in Water by Inductively-Coupled Argon Plasma Atomic Emission Spectroscopy*;
ASTM D4052	*Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter*;
ASTM D7315	*Standard Test Method for Determination of Turbidity Above 1 Turbidity Unit (TU) in Static Mode*;
ASTM E70	*Standard Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode*;
NR-26	Sinalização de segurança.

Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (incluindo emendas).

3. REQUISITOS INICIAIS

O fornecedor deve apresentar relatório de testes com o inibidor de incrustação de acordo com a metodologia descrita a seguir. Além dessas informações, o relatório deve conter, no mínimo:

- Identificação do responsável técnico pela realização dos ensaios;
- Dados da instituição responsável pela execução dos ensaios;
- Data de emissão do relatório.

Caso haja necessidade de entrega de amostra do produto para realização de testes pela Petrobras, os seguintes requisitos devem ser atendidos:

- Fornecer 500 mL (divididos em dois frascos de 250 mL) de amostra em recipiente lacrado compatível com o fluido, íntegro, sem vazamentos, estufamento ou qualquer tipo de degradação.
- O rótulo do produto químico deve ser confeccionado em material que resista às condições normais de uso, transporte e armazenagem dentro do prazo de validade do produto;

- Todas as informações de segurança constantes no rótulo de produto químico comercializado no mercado nacional devem estar redigidas no idioma nacional;
- De acordo com a NR26, a rotulagem de produto químico deve seguir a norma ABNT NBR 14725 parte 3;
- Incluir no rótulo do recipiente o número sequencial do cenário de pré-qualificação/licitação publicado no Edital a que a amostra se relaciona;
- Providenciar a assinatura do protocolo de recebimento de amostras pelo responsável da Petrobras, coletando assinatura e a data da entrega;
- Entregar cópia da Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico – FISPQ, em conformidade com a norma ABNT NBR 14725 parte 4.

Após o recebimento, a amostra será verificada visualmente pela Petrobras quanto à formação de borras, precipitados, turvação e separação de fases. Caso alguma dessas características seja identificada, o produto será reprovado.

4. PREPARO DAS SALMOURAS DE TESTE E AJUSTE DE PH

4.1. Preparo das salmouras de teste

Definem-se as frações volumétricas das salmouras de cátions e ânions na mistura, ϕ_C e ϕ_A, respectivamente, com as equações (1) e (2).

$$\phi_C = \frac{\text{Volume da água de cátions}}{(\text{Volume da água de cátions} + \text{Volume da água de ânios})} \qquad \text{Eq. (1)}$$

$$\phi_A = \frac{\text{Volume da água de ânios}}{(\text{Volume da água de cátions} + \text{Volume da água de ânios})} \qquad \text{Eq. (2)}$$

Preparam-se as seguintes salmouras:

4.1.1. Água de cátions

Tomando como base a composição da salmoura informada no Cenário, substituir as concentrações dos ânions, com exceção do cloreto, por 0 mg/L e as concentrações dos cátions, com exceção do sódio, pelas calculadas com a equação (3).

$$\text{Concentração do cátion } i = \frac{\text{Concentração do cátion } i \text{ no Cenário}}{\phi_C} \qquad \text{Eq. (3)}$$

4.1.2. Água de ânions completa

Tomando como base a composição da salmoura informada no Cenário, substituir as concentrações dos cátions, com exceção do sódio, por 0 mg/L e as concentrações dos ânions, com exceção do cloreto, pelas calculadas com a equação (4).

$$\text{Concentração do ânion } i = \frac{\text{Concentração do ânion } i \text{ no Cenário}}{\phi_A} \qquad \text{Eq. (4)}$$

4.1.3. Água de ânions, sem bicarbonato e sulfato

Tomando como base a composição da salmoura informada no Cenário, substituir as concentrações de bicarbonato, de sulfato e dos cátions, com exceção do sódio, por 0 mg/L e as concentrações dos demais ânions, com exceção do cloreto, pelas calculadas com a equação (5).

$$\text{Concentração do ânion } i = \frac{\text{Concentração do ânion } i \text{ no Cenário}}{\phi_A} \qquad \text{Eq. (5)}$$

Recomenda-se adotar $\phi_C = \phi_A = 50\% = 0{,}5$ com exceção de cenários em que, com o uso deste valor, se obtenha composições para a água de cátions ou ânions acima do limite de solubilidade dos sais, impossibilitando seu preparo. Nesse caso, o fornecedor pode alterar a proporção conforme necessário, devendo informar a proporção aplicada em cada ensaio.

As espécies dos ácidos orgânicos – formiato (CHO_2^-); propionato ($C_3H_5O_2^-$); butirato ($C_4H_7O_2^-$) e lactato ($C_3H_5O_3^-$) – são convertidas em acetato ($C_2H_3O_2^-$). Por isso é necessário converter as concentrações destes ácidos orgânicos, presentes na composição do fluido aquoso, em concentração de acetato equivalente utilizando a equação (6):

$$C_{Acetato*} = C_{Acetato} + \sum\left(\frac{C_{Ácido\ orgânico\ "i"}}{MM_{Ácido\ orgânico\ "i"}} \times MM_{Acetato}\right) \qquad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

$C_{Acetato*}$ é a concentração (mg/L) de acetato equivalente após a conversão das demais espécies "i";

$C_{Acetato}$ é a concentração (mg/L) de acetato informada na salmoura do cenário;

$C_{Ácido\ orgânico\ "i"}$ é a concentração (mg/L) do ácido orgânico "i" informada na salmoura do cenário;

$MM_{Ácido\ orgânico\ "i"}$ é a massa molar (g/mol) do ácido orgânico "i" (Tabela I);

$MM_{Acetato}$ é a massa molar (g/mol) do acetato (Tabela I).

Tabela I - Massas molares dos ânions dos ácidos orgânicos.

ANALITO	MM (g/mol)
Acetato	59,04402
Formiato (CHO_2^-)	45,0169
Propionato ($C_3H_5O_2^-$)	73,0705
Butirato ($C_4H_7O_2^-$)	87,0973
Lactato ($C_3H_5O_3^-$)	89,0695

Todas as salmouras devem ser preparadas com água ultrapura (Tipo I ou II) e, posteriormente, filtradas com membrana de acetato de celulose de 0,45 µm. O Anexo B (arquivo "Planilha preparo de salmouras

sintéticas.xlsx") apresenta uma memória de cálculo para auxiliar no preparo das salmouras de cátions e ânions, partindo-se da composição da água do cenário.

4.2. Ajuste do pH

O ajuste do pH deve ser feito com as salmouras já previamente filtradas, conforme os itens abaixo:

4.2.1. Água de cátions

O pH da água de cátions (item 4.1.1) não é ajustado e deve estar entre 5 e 8. Caso o pH da água de cátions não esteja nessa faixa, a água deve ser descartada e nova água deve ser preparada.

4.2.2. Água de ânions completa

O pH da água de ânions completa (item 4.1.2) pode ser ajustado de duas formas: pelo pH necessário para atingir um valor definido da mistura, ou pelo pH necessário da própria água de ânions completa. Essa definição deve constar na ET do cenário, que poderá ou informar o pH alvo da água de ânions completa, ou o pH alvo da mistura.

(a) pH alvo é o da água de ânions completa → Caso o pH da água de ânions após a mistura dos sais esteja abaixo do pH alvo, deve-se descartar essa água e preparar uma nova água, convertendo o sal bicarbonato em NaOH conforme equação 7, total ou parcialmente. Caso o pH da água de ânions esteja acima do pH alvo deve-se borbulhar CO_2 até atingir o pH alvo. Considerar uma tolerância de ± 0,05 para essa medida de pH.

(b) pH alvo é o da mistura as águas de cátions e de ânions → o pH da água de ânions completa deve ser ajustado de forma que, após a mistura com a água de cátions (item 4.1.1), se obtenha o valor de pH do Cenário, com uma tolerância de ± 0,05. Caso o pH após essa mistura seja maior que o pH do Cenário, o ajuste deve ser feito borbulhando CO_2 na solução. Caso o pH após essa mistura seja menor que o pH do Cenário, deve-se descartar esta água e preparar uma nova, convertendo o sal bicarbonato, total ou parcialmente, em NaOH conforme equação (7) e, se necessário, borbulhar CO_2 na solução.

A conversão de bicarbonato em NaOH deve ser feita utilizando a equação (7).

$$[\mathrm{NaOH}] = [\mathrm{bicarbonato}] \times 0{,}66 \qquad \text{Eq. (7)}$$

Onde:
[NaOH] é a concentração de hidróxido de sódio, em mg/L;
[bicarbonato] é a concentração do íon bicarbonato, em mg/L.

(c) Anotar o valor do pH da água de ânions completa após ajuste.

4.2.3. Água de ânions, sem bicarbonato e sulfato

O pH da água de ânions, sem bicarbonato e sulfato (item 4.1.3) deve ser ajustado com HCl (solução a 10% massa) ou NaOH (solução a 10% volume), de forma que após a mistura com a água de cátions (item 4.1.1) atinja o valor de pH do Cenário, com uma tolerância de ± 0,2.

5. ANÁLISES ESTÁTICAS

Os testes descritos a seguir deverão ser realizados somente quando indicado no cenário de qualificação e para temperaturas inferiores a 90°C.

5.1. Teste de compatibilidade estática

Esse procedimento deve ser realizado para cada concentração de inibidor de incrustação definida na Tabela II.

Tabela II – Concentrações de inibidor de incrustação para avaliação da compatibilidade com a água sintética.

Concentração de inibidor de incrustação (mg/L)	Aplicação do produto em sistemas de superfície	Aplicação do produto em sistemas submarinos
0	x	x
10	x	
25	x	
50	x	
100	x	x
250	x	x
500	x	x
1.000	x	x
2.000	x	
2.500		x
5.000	x	x
10.000		x
20.000		x
50.000		x
100.000		x
200.000		x
300.000		x

A água de cátions (item 4.1.1) e a água de ânions sem bicarbonato e sulfato (item 4.1.3), devem ser condicionadas em frascos separados e mantidos na temperatura de trabalho informada no Cenário, até o momento da mistura. O inibidor de incrustação deve ser adicionado ao frasco com a água de ânions sem bicarbonato e sulfato, de modo que a concentração final do produto ao misturar com a água de cátions seja a determinada na Tabela II. Tirar foto de cada frasco e registrar a cor e o aspecto visual de cada solução, informando se está turva, límpida ou se houve formação de precipitados. Medir o pH e a turbidez (com auxílio de um turbidímetro – referência ASTM D7315). Acondicionar os frascos contendo a solução com a água sintética e inibidor de incrustação em estufa na temperatura de teste e repetir as análises (registro fotográfico, cor, aspecto visual, pH e turbidez) após 1h, 2h e 24h de exposição.

O fornecedor deve apresentar os resultados de seu produto em todas as concentrações solicitadas na Tabela II, conforme a aplicação informada no cenário. O produto será considerado aprovado em compatibilidade se em todas as concentrações até o limite de dosagem informado no cenário apresentar os seguintes resultados:

(a) A solução se mantiver visualmente límpida;
(b) Turbidez medida após 24h do início do teste for inferior a 10 NTU (somente para produtos com aplicação submarina);
(c) Ausência de precipitado após 24h do início do teste.

Quando nas demais condições em que o produto tiver sido avaliado ocorrer turvação e/ou precipitação, será indicativo de limitação de dosagem do inibidor de incrustação nessas condições.

5.2. Teste de eficiência estática

Para esse ensaio, utilizam-se as águas de cátions (item 4.1a) e ânions completa (item 4.1b), tendo seu pH ajustado conforme item 4.2. A água de cátions e a água de ânions completa devem ser condicionadas em frascos separados e mantidos na temperatura de trabalho informada no Cenário, até o momento da mistura, quando então o teste se inicia. É necessário realizar um teste na presença de uma dosagem de inibidor de incrustação definida pelo fornecedor e outro teste sem dosagem de inibidor de incrustação (branco). Nos ensaios com inibidor de incrustação, o produto deve ser previamente adicionado na água de ânions na concentração definida pelo fornecedor, de modo que a concentração final após a mistura com a água de cátions seja a requerida no ensaio.

Alíquotas da solução devem ser retiradas após 1h e 24h do início do ensaio e, ao atingir a temperatura ambiente, submetidas à análise do cátion precipitante. A eficiência do inibidor de incrustação deve ser calculada a partir da concentração do cátion precipitante na mistura, conforme a equação (8).

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{(C_a - C_b)}{(C_0 - C_b)} \times 100 \qquad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

C_a = concentração (mg/L) do cátion precipitante em solução após o ensaio com inibidor;

C_b = concentração (mg/L) do cátion precipitante em solução no ensaio em branco (sem inibidor);

C_0 = concentração (mg/L) do cátion precipitante na mistura.

O inibidor de incrustação será considerado aprovado em desempenho no teste de eficiência estática de inibição de incrustação quando obtiver no mínimo 90% de eficiência no ensaio após 1 hora, em dosagem menor ou igual à dosagem máxima informada no cenário.

6. ANÁLISES DINÂMICAS

Os testes descritos a seguir devem ser realizados para todos os cenários de qualificação. O ensaio do item 6.2 pode ser dispensado nos cenários com temperaturas inferiores a 90°C em que o ensaio do item 5.1 for realizado. Nesse caso, a dispensa do ensaio deverá ser informada na Especificação Técnica do cenário. Todos os ensaios deste item devem ser realizados pelo menos em duplicata.

6.1. Eficiência dinâmica

O ensaio deve ser realizado em um equipamento capaz de simular as condições de campo, denominado PDC (precipitação dinâmica em capilar), cujo esquema simplificado de funcionamento é apresentado na Figura 1. Ressalta-se que, o equipamento deve ser acondicionado na temperatura e pressão do ensaio com água destilada, previamente ao início do teste.

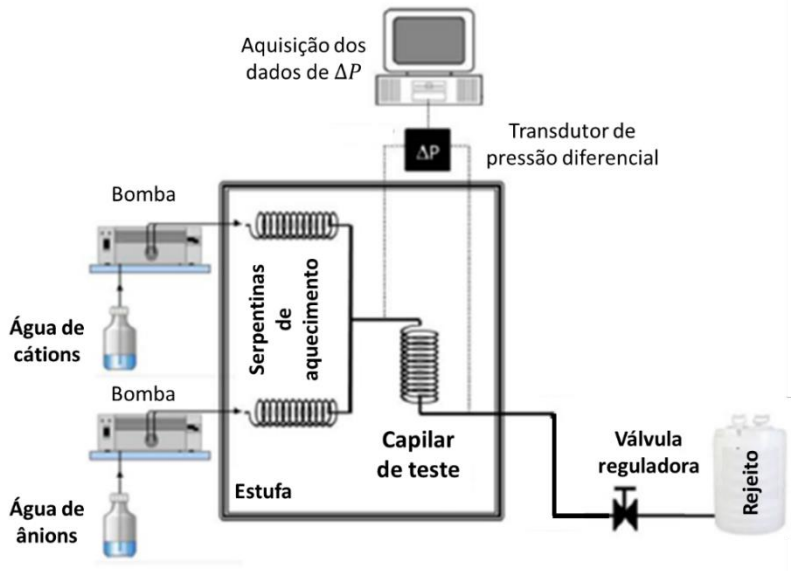

Figura 1- Esquema simplificado do equipamento de Precipitação Dinâmica em Capilar, para avaliação da eficiência de inibidores de incrustação.

Para esse ensaio, utilizam-se as águas de cátions (item 4.1.1) e ânions completa (item 4.1.2), com os pHs ajustados conforme item 4.2. O pH de mistura deve ser verificado imediatamente antes de cada ensaio. Deve-se medir o pH da água de ânions a cada 15min durante todo o teste. O valor medido deve ser igual ao pH anotado no item 4.2.2(c), com uma tolerância de 0,05. Caso o pH medido esteja fora da tolerância, repetir o ensaio.

Após o condicionamento do equipamento na temperatura e pressão de teste, que serão informadas no cenário, a eficiência deve ser então determinada por meio do diferencial de pressão, registrado ao longo do tempo. As demais características do sistema estão apresentadas na Tabela III.

Tabela III - Características do sistema PDC para o ensaio de eficiência dinâmica de inibidor de incrustação.

PARÂMETRO	ESPECIFICAÇÃO
Vazão da água de cátions	(ϕ_C x 10) mL/min
Vazão da água de ânions completa	(ϕ_A x 10) mL/min
Diâmetro externo da serpentina de aquecimento	1/8 polegada
Comprimento da serpentina de aquecimento	6,0 m
Diâmetro externo do capilar de teste*	1/16 polegada
Diâmetro interno do capilar de teste*	0,020 polegada (0,508 mm)
Comprimento do capilar de teste*	1,0 m
Material (serpentina e capilar)	Aço inox 316 ou superior

* Capilar de teste tipo cromatográfico com diâmetro interno uniforme, corte via processo eletrolítico de precisão e analiticamente limpo.

Deve ser realizado teste sem o inibidor de incrustação (ensaio em branco) e com inibidor de incrustação. No ensaio em branco, o diferencial de pressão entre a entrada e a saída do capilar deve ser monitorado e registrado. Após a identificação da mistura das águas no interior do capilar deve-se registrar o diferencial de pressão estabelecendo-se assim uma linha base de mistura. Um acréscimo no diferencial de pressão de 5 psi em relação à linha base de mistura indica a precipitação de incrustação. O tempo de ensaio entre a mistura das águas no interior do capilar e esse incremento de diferencial de pressão define o tempo de branco.

A Figura 2 ilustra uma curva típica de resultado em branco de eficiência dinâmica, com detalhes do tempo de precipitação, linhas base da água destilada e da mistura das salmouras e o incremento de pressão.

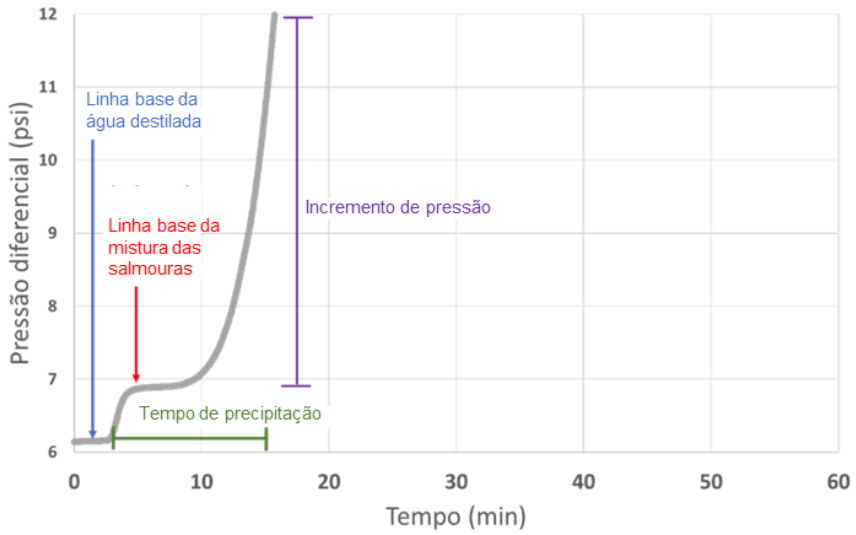

Figura 2- Exemplo de um resultado típico de teste de eficiência dinâmica para o ensaio em branco, com tempo de precipitação de 12 minutos.

Nos ensaios com inibidor de incrustação, o produto deve ser previamente adicionado na água de ânions na concentração definida pelo fornecedor, de modo que a concentração final após a mistura com a água de cátions seja a requerida no ensaio. A duração do ensaio deve ser de, no mínimo uma das duas opções abaixo, que devem ser definidas na ET do cenário:

(a) Três vezes o tempo para que o diferencial de pressão do teste em branco seja alcançado, ou uma hora (o que for maior);
(b) 120 minutos.

Este parâmetro pode ser ajustado pela Petrobras conforme a necessidade, devendo ser divulgado nas condições de qualificação do cenário. O diferencial de pressão no ensaio com inibidor de incrustação na dosagem indicada pelo fornecedor deve ser menor do que 0,50 psi em relação à linha base. Além disso, a dosagem indicada pelo fornecedor deverá ser inferior ou igual à dosagem máxima informada no cenário para aprovação no teste de eficiência dinâmica. Essa dosagem deve ser definida como sendo a Concentração Inibitória Mínima (*Minimum Inhibitory Concentration* – MIC).

Necessidades específicas de testes adicionais para a aprovação do produto poderão ser identificadas pela Petrobras, e serão informadas nas Especificações de contratação de cada cenário específico.

6.2. Compatibilidade dinâmica

Realizar o ensaio descrito no item 6.1 com uma dosagem equivalente a dez vezes a MIC e registrar o resultado. Caso o diferencial de pressão no ensaio com o produto nessa dosagem seja menor que 0,50 psi em relação à linha base, o produto será considerado compatível nesta condição e não há necessidade de informações adicionais. Caso contrário, a dosagem deverá ser gradativamente reduzida em relação a MIC: de 10 vezes a MIC para 9 vezes a MIC; de 8 vezes a MIC; e assim sucessivamente até 3 vezes a MIC, em degraus de valor equivalente a uma vez a MIC.

O produto deverá ser considerado aprovado no teste de compatibilidade dinâmica quando o diferencial de pressão for menor do que 0,50 psi em relação à linha base na dosagem múltipla da MIC igual ou superior a 3 vezes a MIC, registrando-se o múltiplo da dosagem em relação à MIC do teste. Essa dosagem máxima na qual o produto passa no teste de compatibilidade dinâmica deverá ser registrada e informada juntamente com a MIC obtida no item 6.1, sendo dispensadas as duplicatas para as dosagens testadas que não apresentarem resultados satisfatórios.

7. DEMOSTRAÇÃO DA VIABILIDADE DE DETERMINAÇÃO DO RESIDUAL DO INIBIDOR

O fornecedor deve demonstrar a viabilidade de rastrear o inibidor de incrustação na dosagem indicada.

(a) Caso o fornecedor indique a análise elementar de fósforo, esta deverá ser feita seguindo a Norma ASTM D1976. É necessário que o teor de fósforo na Concentração Inibitória Mínima (MIC) seja igual ou superior ao limite de detecção adotado pela Petrobras, que é 0,20 mg/L. Assim, o fornecedor deve apresentar o cálculo do teor de fósforo na MIC, conforme a equação 9.

$$[P]_{MIC} = \frac{[P]_{inibidor}}{\rho_{inibidor}} \times MIC \qquad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

$[P]_{MIC}$ é o teor de fósforo na MIC, em mg/L;

$[P]_{inibidor}$ é o teor de fósforo no inibidor de incrustação, em mg/L;

$\rho_{inibidor}$ é a massa específica do inibidor de incrustação, em mg/L;

MIC é a Concentração Inibitória Mínima, em mg/L.

(b) Para inibidores poliméricos, o fornecedor poderá utilizar a metodologia analítica mostrada no Anexo A que se baseia na reação com o reagente Hyamine 1622. Caso o fornecedor indique esse método analítico, ele deverá comprovar que o método é capaz de determinar a concentração de inibidor, na faixa de concentração da metade da MIC até o dobro da MIC, com um erro de até 10% ou 3 mg/L, o que for maior. As amostras utilizadas para esta comprovação devem ser preparadas dosando inibidor na mistura da água de cátions (item 4.1.1) com a água de ânions sem bicarbonato e sulfato (item 4.1.3), nas frações volumétricas adotadas. O Fornecedor deverá reportar, no mínimo, os resultados para as dosagens de metade da MIC, MIC e o dobro da MIC.

(c) Caso o fornecedor indique outro método analítico, ele deverá comprovar que o método é capaz de determinar a concentração de inibidor, na faixa de concentração da metade da MIC até o dobro da MIC, com um erro de até 10% ou 3 mg/L, o que for maior. As amostras utilizadas para esta comprovação

devem ser preparadas dosando inibidor na mistura da água de cátions (item 4.1.1) com a água de ânions sem bicarbonato e sulfato (item 4.1.3), nas frações volumétricas adotadas. O Fornecedor deverá reportar, no mínimo, resultados para as dosagens de metade da MIC, MIC e dobro da MIC, além de compartilhar o protocolo utilizado.

8. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

8.1. Apresentação dos resultados de compatibilidade estática

Os resultados dos testes de compatibilidade estática (item 5.1) devem ser apresentados na forma de tabela (vide Tabela IV), apresentando-se também o registro fotográfico colorido e em alta resolução conforme exemplo da Figura 3 e Figura 4. Assegurar que os frascos utilizados no ensaio estejam íntegros, sem arranhões, manchas ou outras avarias e detalhes que possam dificultar a visualização dos resultados.

Tabela IV - Exemplo de apresentação, em forma de tabela, dos resultados de compatibilidade de inibidores de incrustação com a água, para cenários de dosagem do produto em superfície: "Compatibilidade entre a água sintética do cenário [inserir o nome do cenário] e o inibidor de incrustação [inserir o nome comercial do inibidor de incrustação] a [inserir a temperatura de teste em °C]".

Conc. do Inibidor (mg/L)	Imediato				1 hora				2 horas				24 horas			
	Cor	Aspecto	Turbidez (NTU)	pH	Cor	Aspecto	Turbidez (NTU)	pH	Cor	Aspecto	Turbidez (NTU)	pH	Cor	Aspecto	Turbidez (NTU)	pH
0	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5
100	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5
250	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5
500	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5	Incolor	Límpido	< 10	4-5
1.000	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5
2.500	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5
5.000	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5	Amarelo claro	Límpido	< 10	4-5
10.000	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Límpido	< 10	4-5
20.000	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Límpido	< 10	4-5
50.000	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Límpido	< 10	4-5	Amarelo	Levemente turvo	50	4-5	Amarelo	Levemente turvo	50	4-5
100.000	Amarelo forte	Límpido	< 10	4-5	Amarelo forte	Límpido	< 10	4-5	Amarelo forte	Turvo	1500	4-5	Amarelo forte	Turvo	1500	4-5
200.000	Amarelo forte	Límpido	< 10	4-5	Amarelo forte	Límpido	< 10	4-5	Amarelo forte	Muito turvo	3500	4-5	Amarelo forte	Muito turvo	3500	4-5
300.000	Laranja	Límpido	< 10	4-5	Laranja	Límpido	< 10	4-5	Laranja	Turvo com precipitação	5000	4-5	Laranja	Turvo com precipitação	5000	4-5

< 10 NTU	Límpido
11-100 NTU	Levemente turvo
101-1000 NTU	Turvo
1001-2000 NTU	Muito turvo
2001-7500 NTU	Turvo com precipitação

Figura 3 - Escala para os resultados de aspecto visual da Tabela IV.

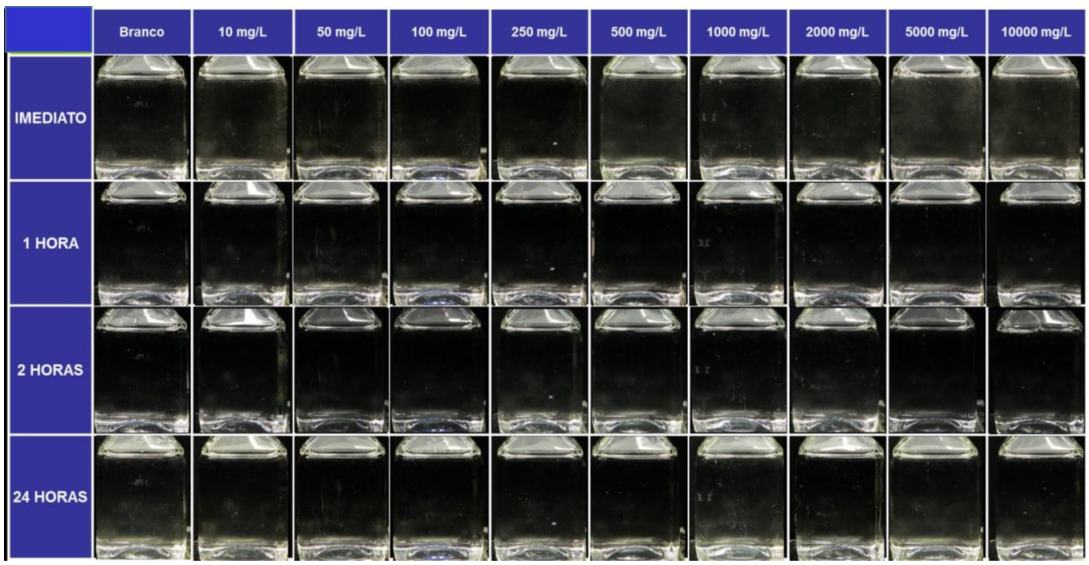

Figura 4 - Exemplo de apresentação, através de registro fotográfico, dos resultados de compatibilidade de inibidores de incrustação com a água, para cenários de dosagem do produto em superfície: "Compatibilidade entre a água sintética do cenário [inserir o nome do cenário] e o inibidor de incrustação [inserir o nome comercial do inibidor de incrustação] a [inserir a temperatura de teste em °C]".

8.2. Apresentação dos resultados da eficiência estática

Deve ser apresentado um gráfico em barra com o percentual de eficiência do inibidor de incrustação em relação à sua dosagem, em mg/L, nos tempos de 1h e 24h, conforme exemplo da Figura 5.

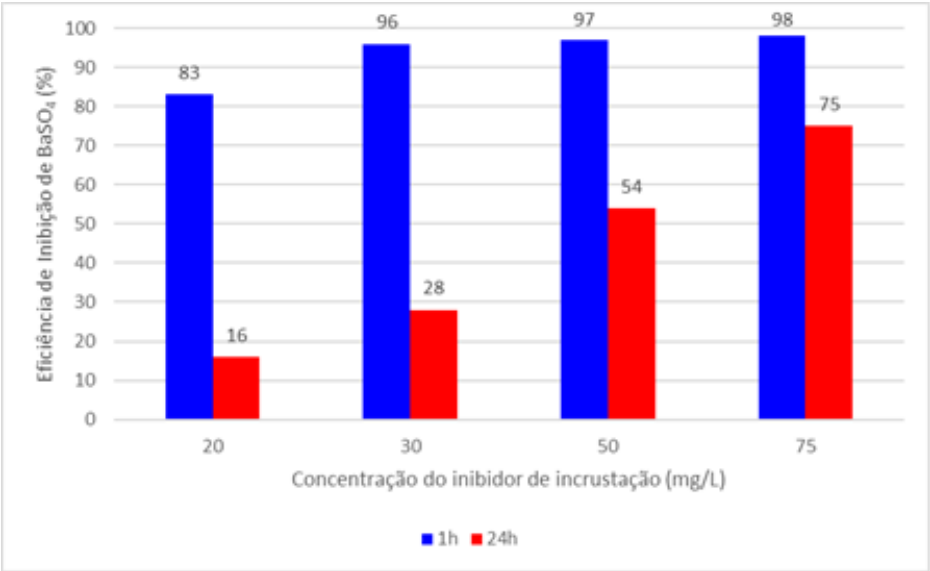

Figura 5 - Exemplo de apresentação dos resultados de determinação da MIC de inibidores de incrustação pelo teste estático de inibição: "Eficiência estática de inibição do inibidor de incrustação [inserir nome comercial do produto] para a água sintética do cenário [inserir o nome do cenário], a [inserir a temperatura de teste em °C]".

8.3. Apresentação dos resultados dinâmicos

Deve ser apresentado um gráfico com as curvas do diferencial de pressão medido durante o ensaio em relação ao tempo, para os testes feitos com todas as dosagens de inibidor de incrustação avaliadas, em mg/L, com escala de 1 psi no eixo y, conforme exemplo da Figura 6.

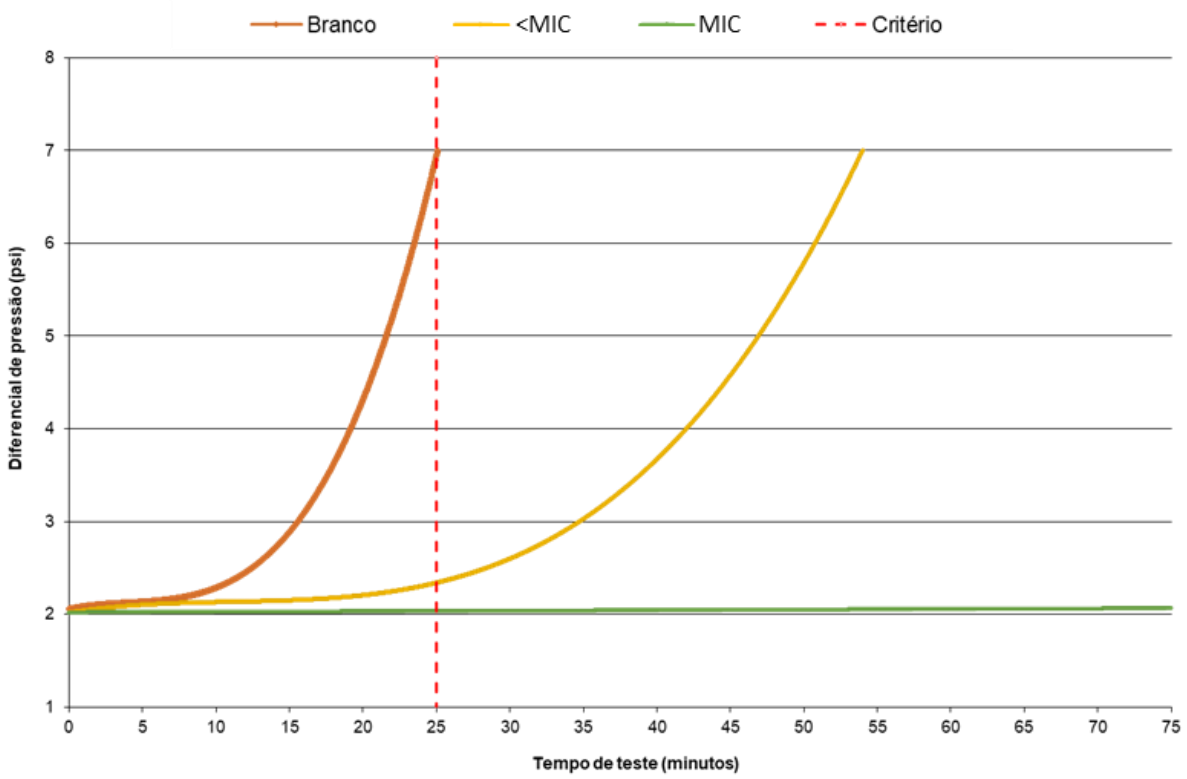

Figura 6 - Exemplo de apresentação dos resultados de determinação da MIC de inibidores de incrustação pelo teste dinâmico de inibição: "Diferencial de pressão do inibidor de incrustação [inserir nome comercial do produto] para a água sintética do cenário [inserir o nome do cenário], a [inserir a temperatura (em °C) e a pressão (bar ou psi) de teste]".

Os resultados de compatibilidade dinâmica poderão ser apresentados tanto no mesmo gráfico dos resultados de eficiência dinâmica, como o exemplo da Figura 6, como separados em gráficos distintos, como no exemplo da Figura 7.

Os valores encontrados do tempo de precipitação do branco deverão ser explicitados no relatório no formato mm:ss (por exemplo, 03:35 na corrida 1; 03:10 na corrida 2).

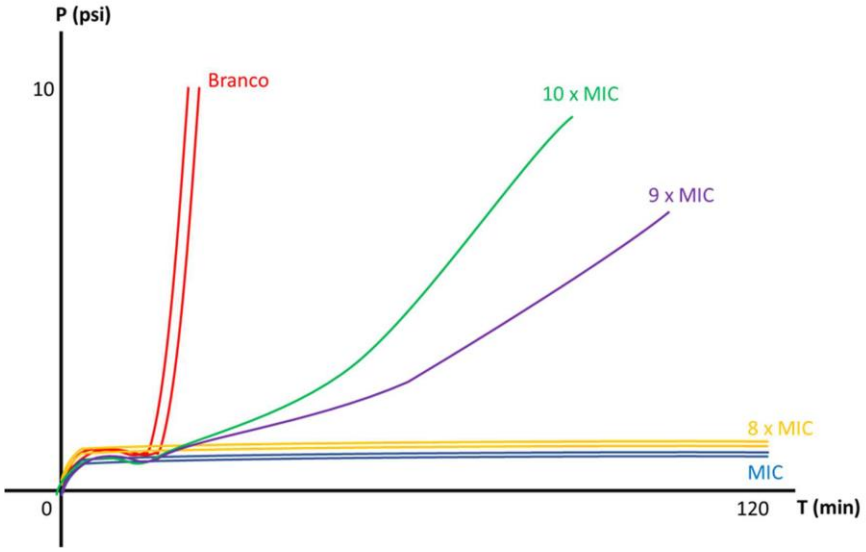

Figura 7 - Exemplo de uma rodada de ensaios de compatibilidade dinâmica na qual a compatibilidade dinâmica do produto foi obtida num valor equivalente de 8 vezes a MIC.

8.4. Apresentação da demonstração da viabilidade de determinação do residual do inibidor

Caso o método analítico indicado tenha sido a análise elementar de fósforo, basta apresentar as entradas e o resultado da equação 9, conforme exemplo da Tabela V.

Tabela V - Exemplo de tabela de resultados de demonstração da viabilidade de determinação do residual do inibidor considerando análise elementar de fósforo

PARÂMETROS DE ENTRADA E RESULTADO	VALORES
Teor de fósforo no inibidor de incrustação, mg/L	44.000
Massa específica do inibidor de incrustação, g/cm³	1,10
Concentração Inibitória Mínima (MIC), mg/L	10
Teor de fósforo na MIC, mg/L (calculado conforme equação 9)	0,4

Para outros métodos analíticos, incluindo o do Hyamine 1622 (Anexo A), além de enviar o protocolo utilizado em anexo, deve ser apresentada uma tabela de resultados em triplicata de determinação de residual de inibidor, conforme exemplo da Tabela VI.

Tabela VI - Exemplo de tabela de resultados, em triplicata, da determinação de residual de inibidor com MIC de 20 mg/L na salmoura de teste.

CONCENTRAÇÃO NOMINAL	RESULTADO DO MÉTODO ANALÍTICO
10 (metade da MIC)	8; 9; 10
20 (MIC)	22; 20; 21
40 (dobro da MIC)	39; 41; 40

9. CRITÉRIO DE APROVAÇÃO

O inibidor de incrustação será considerado aprovado para uso em campo se atender aos critérios de aceitação dos seguintes testes, quando aplicável ao cenário:

- Análises Estáticas (item 5):
  - Teste de compatibilidade estática (item 5.1)
  - Teste de eficiência estática (item 5.2)
- Análises dinâmicas (item 6):
  - Eficiência dinâmica (item 6.1)
  - Compatibilidade dinâmica (item 6.2)
- Determinação do residual do inibidor (item 7). Demonstrar a viabilidade de rastrear o inibidor de incrustação na dosagem indicada via:
  - Análise elementar de fósforo (item 7a);
  - Reação com reagente Hyamine 1622 (item 7b);
  - Método analítico alternativo indicado pelo fornecedor com comprovação que é capaz de determinar a concentração de inibidor (item 7c).

ANEXO A - MÉTODO DO HYAMINE 1622

Método para determinação do residual de inibidores de incrustação em amostras de água.

A.1. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

A.1.1. Solução de cloreto de Benzetônio (Hyamine 1622) 5 g/L;

A.1.2. Solução de citrato de sódio di-hidratado em água deionizada 50 g/L com pH acima de 9,0, ajustado com uma solução de hidróxido de potássio (KOH) 50 % massa;

A.1.3. Metanol (MeOH) P.A.;

A.1.4. Solução de metanol (MeOH P.A.) em água deionizada 80 % volume;

A.1.5. Solução de hidróxido de sódio (NaOH P. A.) em água deionizada 0,1 M;

A.1.6. Solução tampão de borato de sódio em água deionizada 0,05 M com pH 9,0, ajustado com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH P. A.) 0,2 M em água deionizada;

A.1.7. Água deionizada com pH ajustado para 1,5: gotejar ácido clorídrico P.A. (HCl 32%) em água deionizada até atingir o pH entre 1,45 e 1,55;

A.1.8. Água deionizada com pH ajustado para 2,0: gotejar ácido clorídrico P. A. (HCl 32%) em água deionizada até atingir o pH entre 1,95 e 2,05;

A.1.9. Solução do inibidor de incrustação 50 mg/L em água deionizada com pH ajustado para 1,5 (A.1.7);

A.1.10. Solução do inibidor de incrustação 50 mg/L em água deionizada com pH ajustado para 2,0 (A.1.8);

A.1.11. Salmoura de teste;

A.1.12. Soluções padrão do inibidor de incrustação na salmoura de teste nas concentrações de 0,5 vezes a MIC, 0,75 vezes a MIC, na MIC, 1,5 vezes a MIC e 2 vezes a MIC;

A.1.13. Cartuchos para extração em fase sólida:

Aminopropil ($-NH_2$): 500 mg; 6 mL
Octadecil (C18): 18%; 500 mg; 6 mL

A.1.14. *Manifold* a vácuo para cartuchos de extração em fase sólida (SPE);

A.1.15. Tubos Falcon de 50 mL;

A.1.16. Bomba de vácuo e sistema de controle para garantir uma pressão de aproximadamente 2 mm Hg na etapa de lavagem, 5 mm Hg na eluição do cartucho e 9 mm Hg durante a secagem do cartucho;

A.1.17. Fotômetro ou espectrofotômetro capaz de realizar leitura de absorção molecular em 500 nm com exatidão de 0,005 u.a. utilizando cubetas de caminho ótico de 1, 2 e 10 cm;

A.2. SELEÇÃO DO CARTUCHO

Testar os cartuchos do tipo aminopropil (-NH_2) e octadecil (C18) para selecionar o mais adequado para analisar o inibidor de incrustação.

A.2.1. Acoplar os cartuchos SPE ao *manifold* a vácuo conforme mostrado na Figura A.1;

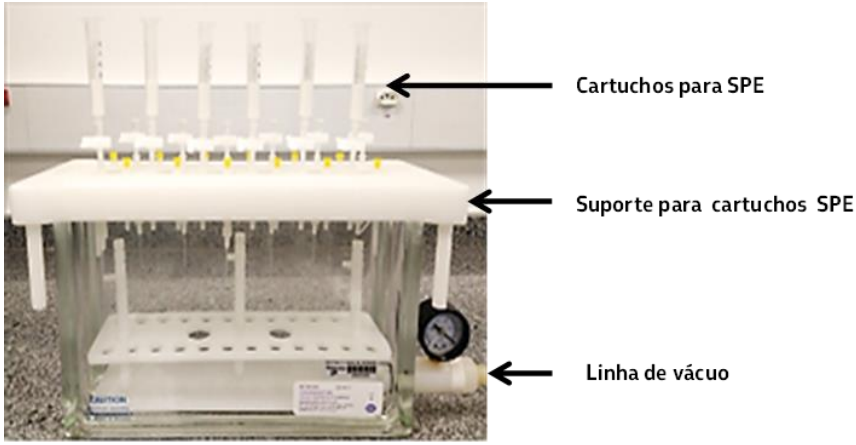

Figura A.1 – *Manifold* a vácuo para cartuchos de SPE.

A.2.2. Avaliação do cartucho aminopropil (-NH_2)

A.2.2.1. Condicionar o cartucho pela adição sequencial, sem vácuo, de 5 mL de metanol P.A. e 10 mL da solução aquosa com pH 1,5 (A.1.7);

A.2.2.2. Percolar 15 mL da solução de inibidor de incrustação A.1.9;

A.2.2.3. Lavar o cartucho com 50 mL da solução A.1.7. a uma vazão de aproximadamente 3 mL/min;

A.2.2.4. Secar o cartucho sob vácuo por 10 minutos;

A.2.2.5. Mantendo o vácuo, adicionar 15 mL da solução de NaOH 0,1 M (A.1.5), recolhendo-se o produto em um tubo Falcon de 50 mL (solução S.A.2.2);

A.2.2.6. Manter o vácuo por mais 10 minutos para garantir que toda a solução foi coletada;

A.2.2.7. Adicionar à solução recolhida (S.A.2.2) 5 mL de solução de citrato de sódio 50 g/L, seguido de 5 mL da solução de Hyamine 1622 5 g/L e iniciar a cronometragem;

A.2.2.8. Após 40 minutos da adição da solução de Hyamine 1622 na solução S.A.2.2, agitar e realizar a leitura de absorção em 500 nm com cubeta de caminho ótico de 2 cm, utilizando água deionizada como branco.

A.2.3. Avaliação do cartucho octadecil (C18)

A.2.3.1. Condicionar o cartucho pela adição sequencial, sem vácuo, de 5 mL de solução de metanol 80% volume (A.1.4) e 10 mL da solução aquosa com pH 2,0 (A.1.8);

A.2.3.2. Percolar 15 mL da solução de inibidor de incrustação A.1.10;

A.2.3.3. Lavar o cartucho com 10 mL da solução A.1.8. a uma vazão de aproximadamente 3 mL/min;

A.2.3.4. Secar o cartucho sob vácuo por 10 minutos;

A.2.3.5. Mantendo o vácuo, adicionar 15 mL da solução de borato 0,05 M (A.1.6), recolhendo-se o produto em um tubo Falcon de 50 mL (solução S.A.2.3);

A.2.3.6. Manter o vácuo por mais 10 minutos para garantir que toda a solução foi coletada;

A.2.3.7. Adicionar à solução recolhida (S.A.2.3) 5 mL de solução de citrato de sódio 50 g/L, seguido de 5 mL da solução de Hyamine 1622 5 g/L e iniciar a cronometragem;

A.2.3.8. Após 40 minutos da adição da solução de Hyamine 1622 na solução S.A.2.3, agitar e realizar a leitura de absorção em 500 nm com cubeta de caminho ótico de 2 cm, utilizando água deionizada como branco.

A.2.4. Comparar o resultado obtido em A.2.2.8 e A.2.3.8 e selecionar o cartucho que fornece a maior absorbância.

A.3. TEMPO DE COMPLEXAÇÃO DO ANALITO COM A HYAMINE 1622

A.3.1. Se o cartucho selecionado for o $-NH_2$, realizar o procedimento de A.2.2.1 a A.2.2.7 e medir a absorbância em 500 nm, com cubeta de caminho ótico de 2 cm, após 20 minutos da adição da solução de Hyamine 1622 em intervalos de tempo de 20 minutos por até 4 horas, utilizando água deionizada como branco;

A.3.2. Se o cartucho selecionado for o C18, realizar o procedimento de A.2.3.1 a A.2.3.7 e medir a absorbância em 500 nm, com cubeta de caminho ótico de 2 cm, após 20 minutos da adição da solução de Hyamine 1622 em intervalos de tempo de 20 minutos por até 4 horas, utilizando água deionizada como branco;

A.3.3. Se ocorrer o aumento do valor de absorbância e a estabilização da leitura, a determinação da absorbância na construção da curva analítica e na análise das amostras de água produzida deve ser realizada no intervalo de tempo no qual a leitura é estável. Se não estabilizar, realizar as leituras no tempo fixo de 40 minutos da adição da solução de Hyamine 1622.

A.4. CONSTRUÇÃO DA CURVA ANALÍTICA

A.4.1. Se o cartucho selecionado em A.2 for o de aminopropil ($-NH_2$):

A.4.1.1. Condicionar o cartucho pela adição sequencial, sem vácuo, de 5 mL de metanol P.A. e 10 mL da solução aquosa com pH 1,5 (A.1.7);

A.4.1.2. Percolar 15 mL da solução padrão de inibidor de incrustação na MIC (A.1.12). Em paralelo, usando outro cartucho condicionado conforme descrito em A.4.1.1., percolar 15 mL da salmoura de teste isenta de inibidor de incrustação (A.1.11);

A.4.1.3. Lavar os cartuchos com 50 mL da solução A.1.7. a uma vazão de aproximadamente 3 mL/min;

A.4.1.4. Secar os cartuchos sob vácuo por 10 minutos;

A.4.1.5. Mantendo o vácuo, adicionar 15 mL da solução de NaOH 0,1 M (A.1.5), recolhendo-se os produtos em tubo Falcon de 50 mL (solução S.A.4.1a da percolação da solução padrão de inibidor de incrustação e solução S.A.4.1b da percolação da salmoura de teste);

A.4.1.6. Manter o vácuo por mais 10 minutos para garantir que toda a solução foi coletada;

A.4.1.7. Adicionar às soluções recolhidas (S.A.4.1a e S.A.4.1b) 5 mL de solução de citrato de sódio 50 g/L, seguido de 5 mL da solução de Hyamine 1622 5 g/L e iniciar a cronometragem;

A.4.1.8. Após o tempo estabelecido em A.3 da adição da solução de Hyamine 1622 na solução S.A.4.1a, agitar e realizar a leitura de absorção em 500 nm em cubeta de caminho ótico de 2 cm, utilizando a solução obtida de S.A.4.1b como branco;

A.4.1.9. Se a absorbância estiver fora da faixa de 0,05 a 0,5, testar cubeta de outro caminho ótico. Se o persistir, usar outro volume de percolação em A.4.1.2.;

A.4.1.10. Se a absorbância lida em A.4.1.8. estiver entre 0,05 e 0,5, repetir o procedimento de A.4.1.1. a A.4.1.8. com as demais soluções padrão do inibidor de incrustação descritas em A.1.12;

A.4.1.11. Construir a curva analítica traçando o gráfico de correlação das concentrações das soluções padrão em função da absorbância em 500 nm. Essa curva analítica deve ser linear (resíduos com distribuição normal e variância constante) com coeficiente de determinação superior a 0,97;

A.4.1.12. Se o coeficiente de determinação da curva for menor do que 0,97, usar outro volume de percolação em A.4.1.2. e/ou mudar o caminho ótico.

A.4.2. Se o cartucho selecionado em A.2 for o de octadecil (C18):

A.4.2.1. Condicionar o cartucho pela adição sequencial, sem vácuo, de 5 mL de solução de metanol 80% volume (A.1.4) e 10 mL da solução aquosa com pH 2,0 (A.1.8);

A.4.2.2. Percolar 15 mL da solução padrão de inibidor de incrustação na MIC (A.1.12). Em paralelo, usando outro cartucho condicionado conforme descrito em cc, percolar 15 mL da salmoura de teste isenta de inibidor de incrustação (A.1.11);

A.4.2.3. Lavar os cartuchos com 10 mL da solução A.1.8. a uma vazão de aproximadamente 3 mL/min;

A.4.2.4. Secar os cartuchos sob vácuo por 10 minutos;

A.4.2.5. Mantendo o vácuo, adicionar 15 mL da solução de borato 0,05 M (A.1.6), recolhendo-se os produtos em tubo Falcon de 50 mL (solução S.A.4.2a da percolação da solução padrão de inibidor de incrustação e solução S.A.4.2b da percolação da salmoura de teste);

A.4.2.6. Manter o vácuo por mais 10 minutos para garantir que toda a solução foi coletada;

A.4.2.7. Adicionar às soluções recolhidas (S.A.4.2a e S.A.4.2b) 5 mL de solução de citrato de sódio 50 g/L, seguido de 5 mL da solução de Hyamine 1622 5 g/L e iniciar a cronometragem;

A.4.2.8. Após o tempo estabelecido em A.3 da adição da solução de Hyamine 1622 na solução S.A.4.2a, agitar e realizar a leitura de absorção em 500 nm em cubeta de caminho ótico de 2 cm, utilizando a solução obtida de S.A.4.2b como branco;

A.4.2.9. Se a absorbância estiver fora da faixa de 0,05 a 0,5, testar cubeta de outro caminho ótico. Se o persistir, usar outro volume de percolação em A.4.2.2.;

A.4.2.10. Se a absorbância lida em A.4.2.8. estiver entre 0,05 e 0,5, repetir o procedimento de A.4.2.1 a A.4.2.8. com as demais soluções padrão do inibidor de incrustação descritas em A.1.12;

A.4.2.11. Construir a curva analítica traçando o gráfico de correlação das concentrações das soluções padrão em função da absorbância em 500 nm. Essa curva analítica deve ser linear (resíduos com distribuição normal e variância constante) com coeficiente de determinação superior a 0,97;

A.4.2.12. Se o coeficiente de determinação da curva for menor do que 0,97, usar outro volume de percolação em A.4.1.2 e/ou mudar caminho ótico.

Nota: Se a absorbância da solução contendo 2 vezes a MIC for maior do que 1, recomenda-se reduzir o volume das soluções padrão percoladas em A.4.1.2. ou em A.4.2.2. Se for menor do que 0,5, recomenda-se aumentar o volume.

A.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE INIBIDORES DE INCRUSTAÇÃO EM AMOSTRAS DE ÁGUA PRODUZIDA

A.5.1. Para analisar a amostra de água produzida, utilizar o volume de percolação estabelecido na construção da curva analítica e realizar o procedimento de q a x ou cc a jj. Realizar o procedimento com a salmoura de teste para usar como branco da análise em 500 nm;

A.5.2. Se a absorbância em 500 nm estiver acima do limite da curva analítica, diluir a amostra com a salmoura de teste e repetir a análise;

A.5.3. Calcular a concentração do inibidor de incrustação na água produzida, utilizando a equação da curva analítica construída em A.4;

A.5.4. Reportar a concentração do inibidor de incrustação como um número inteiro;

A.5.5. Se a absorbância estiver abaixo do limite da curva, reportar o resultado como menor do que o número correspondente a 0,5 vezes o valor da MIC.

ANEXO B - MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA AUXILIAR NO PREPARO DAS SALMOURAS

O arquivo eletrônico (Anexo B) "Planilha preparo de salmouras sintéticas.xlsx" possui uma memória de cálculo para auxiliar no preparo das salmouras de cátions e ânions, partindo-se da composição da água do cenário como ilustrado na Figura B.1.

O arquivo da planilha de cálculo pode ser encontrado na aba "Anexo" desta especificação técnica (ET-3010.00-1260-010-PNG-052-H.pdf) e acessado por qualquer *software* de arquivos no formato PDF.

Fonte: PETROBRAS. Canal Fornecedor / Especificações técnicas / Produtos Químicos para *Upstream*, 2023. Disponível em: <https://canalfornecedor.petrobras.com.br/pt/regras-de-contratacao/catalogo-de-padronizacao/#especificacoes-tecnicas>.

Instruções de uso:
Preencher os campos editáveis da tabela "Salmoura completa" com a concentração de cada componente da água do cenário.
Na célula A13, selecionar "Bicarbonato", caso a concentração deste componente seja informada; selecionar "Alcalinidade total" apenas quando a concentração de bicarbonato não for informada.
Na célula E9, selecionar o sal de brometo disponível para o preparo (NaBr ou KBr).
O campo volume pode ser editado de acordo com a quantidade de água que se deseja preparar.
As frações volumétricas, em geral igual a 0,5, podem ser alteradas se necessário, desde que respeitada a relação ϕC+ϕA=1.
Alterar, entre 0 e 100, a célula I4, para substituição do bicarbonato de sódio por NaOH, caso necessário. Onde 0 não há substituição e 100 todo o bicarbonato de sódio é substituído.

Salmoura completa	
Constituintes, mg/L	
Sódio	0
Potássio	0
Magnésio	0
Cálcio	0
Bário	0
Estrôncio	0
Cloreto	0
Brometo	0
Sulfato	0
Bicarbonato	0
Acetato	0
Formiato	0
Propionato	0
Butirato	0
Lactato	0
Bicarbonato	0
pH a 21°C	
Salinidade (NaCl)	0

Água de Ânions					
Fração volumétrica cátions (ϕ_C)	0,5	Volume a ser preparado (L)	1		
Analito	**Sal**	**Massa a ser pesada, g**		% de NaOH	0
Sulfato	Na2SO4	0,0000		**NaOH, g**	
Bicarbonato	NaHCO3	0,0000		0	
Sódio	NaCl	0,0000			
Acetato	NaCH3COO	0,0000			
Brometo	NaBr	0,0000			
pH a 21°C					

Água de Cátions			
Fração volumétrica ânions (ϕ_A)	0,5	Volume a ser preparado (L)	1
Analito	**Sal**	**Massa a ser pesada, g**	
Sódio	NaCl	0,0000	
Potássio	KCl	0,0000	
Cálcio	CaCl2.2H2O	0,0000	
Magnésio	MgCl2.6H2O	0,0000	
Bário	BaCl2.2H2O	0,0000	
Estrôncio	SrCl2.6H2O	0,0000	
pH a 21°C			

Campos editáveis
Valor experimental

Água de Ânions (s/ ânions ppt)			
Fração volumétrica ânions (ϕ_A)	0,5	Volume a ser preparado (L)	1
Analito	**Sal**	**Massa a ser pesada, g**	
Sódio	NaCl	0,0000	
Acetato	NaCH3COO	0,0000	
Brometo	NaBr	0,0000	
pH a 21°C			

Data de impressão
24/08/2023

Figura B.1 – Esquema da planilha de memória de cálculo para auxiliar no preparo das salmouras de cátions e ânions, partindo-se da composição da água do cenário.