



IBP2026_18

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE
DISPOSITIVOS MAGNÉTICOS PARA
PREVENÇÃO DE INCRUSTAÇÃO E
PROPOSTA DE UM MODELO FÍSICO E
DE UMA METODOLOGIA DE PROJETO**

Hugo F. L. Santos ¹, Helga E. P. Schlüter ²,
André L. Martins ³, Bruno B. Castro ⁴.

Copyright 2018, Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute - IBP

This Technical Paper was prepared for presentation at the *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018*, held between 24 and 27 of September, in Rio de Janeiro. This Technical Paper was selected for presentation by the Technical Committee of the event according to the information contained in the final paper submitted by the author(s). The organizers are not supposed to translate or correct the submitted papers. The material as it is presented, does not necessarily represent Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute's opinion, or that of its Members or Representatives. Authors consent to the publication of this Technical Paper in the *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2018 Proceedings*.

Resumo

O presente artigo é parte de um projeto, denominado Controle de Incrustação em Poços de Alta Vazão. Esse projeto tem como um de seus objetivos avaliar a possibilidade de utilização de dispositivos magnéticos para prevenir incrustação em poços com potencial de incrustação por carbonato de cálcio. Dentro desse projeto, foram realizados experimentos nos laboratórios da UFRJ e do IPT e foram realizadas aplicações de campo de Serraria, no Rio Grande do Norte, e em planta industrial do CENPES. O artigo toma como base esses experimentos, bem como dados da literatura, e apresenta uma proposta de modelo para o fenômeno e para o dimensionamento desses imãs. Essa proposta é comparada com os dados experimentais e apresenta bons resultados.

Palavras-chave: Incrustação. Dispositivos Magnéticos. Carbonato de Cálcio. Inibidores.

1 Introdução

A ocorrência de incrustação em colunas de produção, em linhas de produção e em instalações de superfície é uma realidade que apresenta grande impacto financeiro para a indústria do petróleo e para vários outros setores. A estratégia mais comum para prevenção de incrustação é a utilização de inibidores químicos. Contudo, sua utilização apresenta algumas limitações, particularmente para aplicação em poços, como falhas nos mandris de injeção e problemas de compatibilidade química. Tais falhas fazem com que esses produtos deixem de ser injetados ou até gerem problemas de produção. Além disso, falhas nas válvulas de retenção (*check valves*) podem fazer com que haja comunicação direta entre o reservatório e a árvore de natal, trazendo problemas de segurança de poço. Por outro lado, a utilização de produtos químicos possui eficácia limitada em alguns casos e possui custo elevado em vários outros. Desse modo, têm sido buscadas alternativas para prevenção de incrustação. Uma estratégia para tal, já pesquisada há vários anos, é a utilização de dispositivos magnéticos.

¹ M. Sc., Engenheiro de Petróleo – PETROBRAS

² Ph.D, Química de Petróleo – PETROBRAS

³ Ph.D., Químico de Petróleo – PETROBRAS

⁴ M. Sc., Engenheiro de Processamento – PETROBRAS

1.1 Evolução Histórica (IPT e Petrobras, 2013)

A utilização de dispositivos magnéticos para prevenção da incrustação não é recente. Um dos primeiros registros sobre o efeito do campo magnético no tratamento da água é uma patente americana depositada por Fance & Campbell em 1890. Nela, foi patenteado um dispositivo que atuava elétrica e magneticamente para tratar a água de caldeira.

Em 1936, o engenheiro Belga Teofil Vermeiren observou que os cristais sofriam alteração quanto à forma cristalina quando submetidos ao campo magnético, especialmente o carbonato de cálcio. Observou ainda que havia uma redução na incrustação em sistemas de aquecimento domiciliar de água. Isso deu origem a patente e à constituição da empresa EPURO para comercialização do dispositivo. Essa empresa teria vendido mais de 130.000 equipamentos até 1980 e continuaria vendendo nas décadas seguintes.

Contudo, ainda há grande ceticismo, tanto na indústria quanto na academia, uma vez que ao longo da história, diversos trabalhos científicos têm fundamentado e refutado a efetividade desses dispositivos para prevenção de incrustação. Esses posicionamentos divergentes fazem com que haja grande controvérsia quanto à credibilidade desse tipo de condicionamento de água.

1.2 Mecanismos propostos na literatura para o fenômeno (IPT e Petrobras, 2013)

São propostos diferentes mecanismos na literatura para atuação do campo magnético com o objetivo de evitar incrustação. Tais mecanismos podem ser divididos em quatro grupos:

- 1) Efeitos intra-atômicos, caracterizados por mudança na conformação eletrônica. (efeito Zeeman – RMN);
- 2) Efeitos de contaminação, com a criação de regiões catódicas no material do tubo nas imediações do campo magnético;
- 3) Efeitos intermoleculares ou inter-atômicos, como a mudança na coordenação da água nos íons, a hidratação;
- 4) Efeitos interfaciais, com a introdução de cargas nas superfícies, alterando o potencial Zeta.

Em todos, ou quase todos, as Forças de Lorentz estariam presentes como força motriz, pois trata-se do efeito presente quando partículas carregadas se deslocam sob ação de um campo magnético. Nesse sentido, há um critério usualmente utilizado na literatura de um produto velocidade – intensidade do campo magnético, o chamado produto $B \cdot v$, superior a 10.000 Ga.m/s. Contudo, há evidências de que o campo magnético pode ser efetivo mesmo com valores bem menores.

O presente artigo propõe inicialmente um modelo simplificado para análise da atuação do campo magnético. A seguir, apresenta trabalhos realizados anteriormente com o objetivo de avaliar a efetividade do campo magnético. Para cada um desses experimentos, é avaliada a efetividade e calculado o produto $B \cdot v$.

2 Modelo Proposto

O modelo proposto não considera em detalhes a forma de aplicação do campo magnético, mas assume que não se trata de efeitos intra-atômicos, como o efeito Zeeman. Assume, ao invés disso, que se trata de efeitos intermoleculares, interfaciais ou, eventualmente, até mesmo efeitos de contaminação. O modelo abrange, portanto, boa parte das explicações apresentadas na literatura, como o favorecimento da formação de formas menos estáveis como aragonita e vaterita (Figura 1). Nesses modelos, a aplicação do campo magnético favorecerá a formação de estruturas cristalinas menos estáveis, como aragonita e vaterita (Figura 1b) em detrimento da formação de estruturas mais estáveis, como a calcita (Figura 1a).

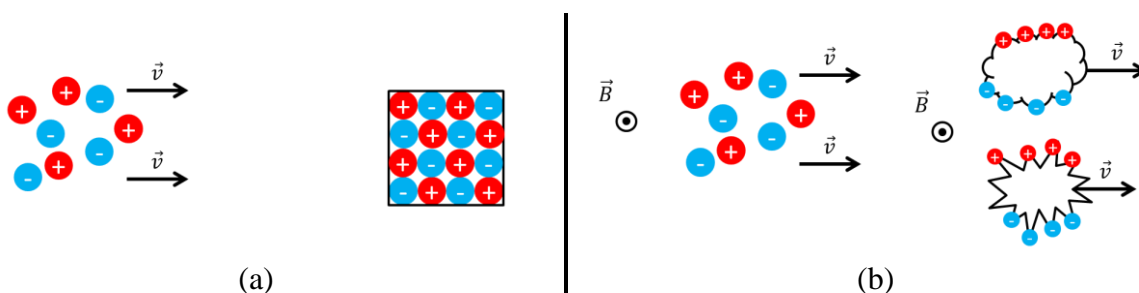


Figura 1 – Escoamento (a) sem e (b) com aplicação de campo magnético.

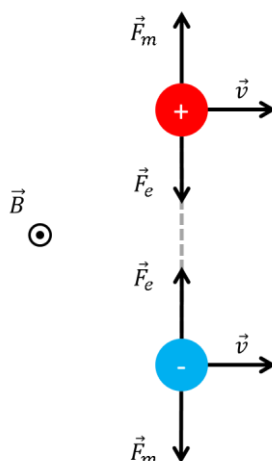


Figura 2 – Modelo de dipolo utilizado.

São apresentadas equações de engenharia simplificadas que permitem dimensionar os ímãs e que podem servir como base para o desenvolvimento de equações mais refinadas. Pelo modelo proposto, ao passar por um campo magnético \vec{B} , com velocidade \vec{v} , os íons presentes no fluido se deslocam em direções opostas pela Lei de Lorentz. Eventualmente, isso fará com que o cristal formado assuma configurações menos estáveis. Essas configurações possuem menor aderência, reduzindo a taxa de incrustação.

Para modelagem do dispositivo magnético agindo sobre os cristais de calcita, foi considerado um modelo de dipolo elétrico passando por um campo magnético. Nesse modelo, duas cargas, uma positiva e outra negativa se deslocam com velocidade \vec{v} em uma região com campo magnético \vec{B} . Pela Lei de Lorentz, isso gera uma força \vec{F} agindo em direções opostas em cada carga. Contudo, pela Lei de Coulomb, aquelas cargas nas extremidades do cristal

tendem a se atrair. Desse modo, considerando como duas cargas pontuais afastadas, pela lei de Coulomb, elas se atraem de acordo com a seguinte equação:

$$F_e = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{e^2}{d^2} \quad (1)$$

onde F_e é o módulo da força de atração elétrica, ϵ_0 é a permissividade do vácuo, e é a carga do elétron e d é a distância máxima entre os elétrons em um cristal, dada pelo comprimento do cristal na direção perpendicular ao fluxo. Para desestabilizar o dipolo, é necessária a aplicação de uma força superior à sua atração. Essa força de repulsão gerada pelo campo magnético é dada pela lei de Lorentz:

$$F_m = B v e \quad (2)$$

onde F_m é a força magnética, B é o campo magnético atuando e v é a velocidade do escoamento. Assim, é necessário ter, portanto a força magnética de repulsão maior do que a força de atração. Para que isso aconteça, é necessário haver um produto $B v$ tal que:

$$B v > \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{e}{d^2} \quad (3)$$

Considerando um cristal ou região de cristalização de 100 μm , chega-se a um produto $B v$ igual a 1400 Ga. m/s. Cristais maiores seriam mais facilmente transformáveis e cristais menores teriam mais dificuldade. Produtos $B v$ maiores seriam mais efetivos e produtos $B v$ menores, seriam menos efetivos. Por outro lado, fazendo o raciocínio contrário e considerando o valor de referência para o produto $B v$ encontrado na literatura, $B v = 10000$ Ga. m/s, tem-se que o tamanho mínimo do cristal afetado pelo campo magnético é igual a 38 μm . Desse modo, cristais ou regiões de cristalização com tamanho acima de 38 μm são afetados por um produto $B v$ de 10.000 Ga. m/s.

3 Histórico de Testes

Para avaliação do modelo proposto, foram tomados como base os testes realizados dentro desse projeto. Esses testes estão apresentados de modo resumido a seguir. Foram realizados testes no campo de Serraria, na Estação de Tratamento e Reuso de Água do Cenpes, na UFRJ e no IPT.

3.1 Testes realizados em poços de terra do campo de Serraria

Foram realizados três testes em poços *onshore* (Martins, et al., 2014). Foram fabricados três subs e inseridos em três poços do campo de Serraria, o SE-1, o SE-36 e o SE-54. Em cada poço foram utilizados equipamentos de diferentes fabricantes, com diferentes características.

O campo de Serraria possui as seguintes características: 23 poços produtores, recuperação secundária através de injeção de água e elevação artificial por bombeio

mecânico. O campo sofre frequentes ocorrências de incrustação (CaCO_3) nos equipamentos de fundo. Além disso, o tempo médio até a falha (MTTF) do campo é de 9 meses.

O poço SE-1, especificamente possuía MTTF de 184 dias, com desvio-padrão de 53 dias. Ele recebeu o equipamento do fabricante MAGNIFLO. O equipamento operou por 230 dias. As condições de teste foram (Petrobras, 2013): vazão: $34,0 \text{ m}^3/\text{dia}$, diâmetro interno da tubulação: $62,0 \text{ mm}$ ($2 \frac{7}{8} \text{ pol}$, $6,5 \text{ lb/pé}$); composição: óleo viscosidade $2,2 \text{ cp}$, BSW 70% , água com salinidade 12 g/l ; Temperatura: 65°C ; Pressão: 150 kgf/cm^2 ; Campo estimado: $0,6 \text{ T}$ (6.000 Ga); comprimento aproximado: $0,6 \text{ m}$; *Full Bore*. Método de Bombeio: BM e, após, BCP. Embora tenha havido um aumento em relação ao MTTF, não foi estatisticamente significativo.

O poço SE-36 possuía um MTTF de 208 dias, com desvio-padrão de 79 dias. Ele recebeu o equipamento MAGTEK (MAGTEK INC, 2014) e operou por 232 dias. As condições de teste foram (Petrobras, 2013): Vazão: $23,3 \text{ m}^3/\text{dia}$, Diâmetro interno da tubulação: $62,0 \text{ mm}$ ($2 \frac{7}{8} \text{ pol}$, $6,5 \text{ lb/pé}$); Composição: óleo viscosidade $2,2 \text{ cp}$, BSW 70% , água com salinidade 12 g/l ; Temperatura: 65°C ; Pressão aproximada: 140 kgf/cm^2 ; Campo estimado: $0,6 \text{ T}$ (6.000 Ga); Comprimento aproximado: $0,6 \text{ m}$. Restrição: *Full Bore*. Método de Bombeio: BCP. Embora tenha havido um aumento em relação ao MTTF, não foi estatisticamente significativo.

O poço SE-54 possuía um MTTF de 133 dias, com desvio-padrão de 100 dias. Ele recebeu o equipamento DMA e operou 640 dias. As condições de teste foram (Petrobras, 2013): Vazão: $23,8 \text{ m}^3/\text{dia}$ Diâmetro interno da tubulação: $62,0 \text{ mm}$ ($2 \frac{7}{8} \text{ pol}$, $6,5 \text{ lb/pé}$); Composição: óleo viscosidade $2,2 \text{ cp}$, BSW 70% , água com salinidade 12 g/l ; Temperatura: $63,4^\circ\text{C}$; Pressão aproximada: 150 kgf/cm^2 ; Campo estimado: $0,6 \text{ T}$ (6.000 Ga); Comprimento aproximado: $0,2 \text{ m}$; Restrição na região do imã: 16 mm de diâmetro. Método de Bombeio: BM, com bomba de fundo de $2 \frac{1}{4}''$ a 1293 m . O dispositivo foi instalado a 1299 m , acima do intervalo produtor, que estava de 1302 m a 1355 m . Nesse caso, ao contrário dos outros dois, houve um aumento significativo no tempo até a falha, de modo que o efeito do campo magnético pode ser considerado estatisticamente relevante.

Um ponto que deve ser ressaltado é que o dispositivo que obteve o melhor resultado, e o único que apresentou resultado estatisticamente relevante, foi aquele no qual havia uma restrição na região próxima ao imã e, portanto, possuía maior velocidade e maior produto $B \cdot v$ na região próxima ao imã. Como será apresentado mais adiante, esse produto assume um valor acima do proposto na literatura como mínimo.



Figura 3 – (a) Dispositivo Magnético descido no SE-54 e (b) esquemático do poço (Petrobras, 2013).

3.2 Testes realizados na Estação de Tratamento e Reuso de Água (ETRA)

Foram realizados testes na Estação de Tratamento e Reuso de Água (ETRA). Trata-se de uma planta industrial localizada no Cenpes. Mais especificamente, os dispositivos foram instalados em membranas de osmose inversa. O sistema opera com vazão de 13 m³/h; temperatura variável, em média 25°C e pressão de 7 bar. Nesse teste, foram instalados 5 pares de dispositivos magnéticos antes do primeiro trem de osmose inversa e outros 5 pares entre o primeiro e o segundo trem (Schlüter, et al., 2016). Os dispositivos utilizados são do fabricante HIDROMAG (Hidromag, 2017) possuem campo magnético medido de aproximadamente 6.000 Ga em repulsão, diâmetro interno do tubo de 52 mm (diâmetro 2 pol, schedule 40) e comprimento de aproximadamente 300 mm. O tempo entre limpezas aumentou de 4 para 15 dias.



Figura 4 – Foto dos dispositivos utilizados (Schlüter, et al., 2016).

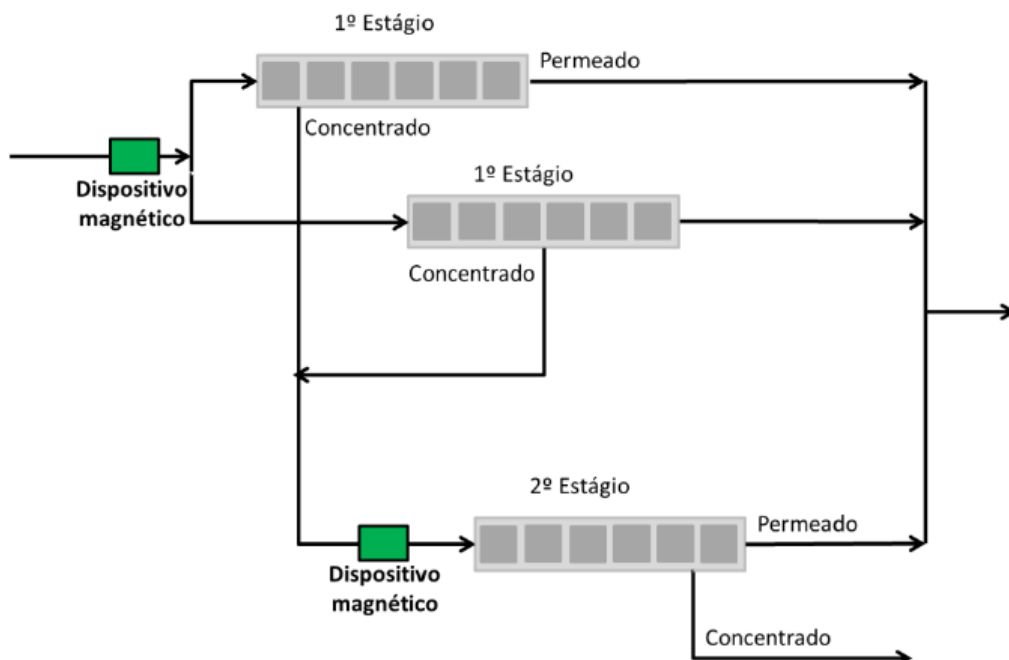


Figura 5 – Desenho esquemático com a posição dos ímãs utilizados (Schlüter, et al., 2016).

3.3 Testes na UFRJ

Na UFRJ, foram realizados testes para avaliar a atuação dos dispositivos magnéticos em membranas de osmose inversa (Schlüter, 2014). Os parâmetros de teste foram (UFRJ-0): campo magnético de aproximadamente 6.000 Ga; diâmetro do tubo de 4 mm; vazão de 40 l/h; temperatura de 25°C; pressão de 30 bar. Foi observado um aumento pequeno, mas estatisticamente significativo, no fluxo de permeado. Esse aumento ficou em torno de 9%.

Adicionalmente, foram realizados testes em um Loop de simulações de escoamento (Loureiro, 2013). No primeiro conjunto de testes (Loureiro, 2015), foram avaliados eletroímãs e ímãs permanentes. As condições de teste foram (UFRJ-1): vazão: 300 l/h, diâmetro da tubulação: 25,4 mm (1 pol) externo, interno 19 mm (3/4 in); composição: água potável, com adição de 3,67 g/l de cloreto e 6,3 g/l de bicarbonato; temperatura: entre 31°C e 33°C; pressão: atmosférica; Campo estimado: 0,5 T (5.000 Ga). Não foi observada influência do campo magnético.

No segundo conjunto de testes realizado na COPPE (Loureiro, 2015), novamente foram avaliados eletroímãs e ímãs permanentes. As condições de teste foram (UFRJ-2) vazão: 300 l/h; diâmetro da tubulação: 25,4 mm (1 pol) externo, interno 19 mm (3/4 in); composição: água potável, com adição de 3,67 g/l de cloreto e 6,3 g/l de bicarbonato; temperatura: entre 31°C e 33°C; pressão: atmosférica; campo estimado: 0,5 T (5.000 Ga). Não foi observada diferença significativa entre os resultados com e sem campo.

No terceiro conjunto de testes (Loureiro, 2015) (experimentos 10 a 14), foram avaliados eletroímãs e ímãs permanentes. Nesse experimento, houve uma ligeira alteração na determinação da massa incrustada: antes da determinação da massa, foi realizado um *flush* de água doce a 600 l/h por 5 min e por 30 min. As condições de teste foram (UFRJ-3): vazão: 300 l/h; diâmetro da tubulação: 25,4 mm (1 pol) externo, interno 19 mm (3/4 in); Composição: água potável, com adição de 3,67 g/l de cloreto e 6,3 g/l de bicarbonato; Temperatura: entre 23°C e 26°C; Pressão: atmosférica; Campo estimado: 0,5 T (5.000 Ga). Foi observada uma deposição em torno de 25% inferior com a utilização do campo magnético.

O quarto conjunto de testes teve resultados mais interessantes (Loureiro, 2015). Foram avaliados eletroímãs e ímãs permanentes. Nesse experimento, foi utilizada uma redução para 6 mm no diâmetro interno. As condições de teste foram (UFRJ-4): vazão: 300 l/h; diâmetro interno da tubulação: 6 mm; composição: água potável, com adição de 3,67 g/l de cloreto e 6,3 g/l de bicarbonato; temperatura: entre 25°C e 27°C; Pressão: atmosférica; Campo estimado: 0,5 T (5.000 Ga). Foi observada uma redução de 26% na massa incrustada utilizando os ímãs permanentes.

No quinto conjunto de testes realizado na COPPE (Loureiro, 2015), foram avaliados eletroímãs e ímãs permanentes. As condições de teste foram (UFRJ-5): sistema com 200 l; vazão: 2.900 l/h; diâmetro interno da tubulação: 19 mm; composição: água potável, com adição de 4,0 g/l de cloreto e 4,9 g/l de bicarbonato; Pressão: atmosférica; Campo estimado: 0,5 T (5.000 Ga). Nesse experimento, foi utilizado um circuito fechado com e sem campo magnético de 10.500 Ga.

3.4 Testes no IPT

Foram realizados alguns conjuntos de teste no IPT (Martins, 2014). No primeiro conjunto (IPT-1), foi utilizado um campo magnético de intensidade 5.000 Ga e com um impelidor com velocidade máxima de 0,94 m/s. Não foram observados efeitos significativos.

No segundo conjunto, foram realizados testes com reator tubular, campo de 16.000 Ga e velocidade média de aproximadamente 2,3 m/s. Foi observado um aumento significativo na formação de vaterita e uma redução significativa na formação de calcita.

4 Metodologia

Para avaliação do modelo desenvolvido, foram utilizados alguns resultados de campo e alguns resultados laboratoriais de experimentos realizados. Os resultados de campo correspondem aos testes realizados nos poços do campo de Serraria, SE-1, SE-36 e SE-54. Em cada poço, foram instalados dispositivos magnético de diferentes fabricantes e com diferentes características. Os poços possuíam determinado tempo médio entre falhas registrado. Esse tempo médio entre falhas foi avaliado antes e após a utilização do dispositivo magnético. Os testes de campo correspondem ainda aos testes realizados na Estação de Tratamento de Água do Cenpes (ETRA). Foram instalados dispositivos magnéticos antes das membranas de osmose inversa. Por outro lado, os testes laboratoriais correspondem a testes realizados em reatores submetidos a campo magnético, a testes realizados em membranas laboratoriais de osmose inversa e a testes realizados no Loop de alta vazão da UFRJ.

5 Resultados e Discussão

A seguir estão apresentados os resultados obtidos nos trabalhos desenvolvidos. Esses resultados estão apresentados em forma de tabela e graficamente.

Tabela 1 - Resultado dos experimentos realizados.

Teste	Intensidade do Campo Magnético B (Ga)	Velocidade de Escoamento V (m/s)	Produto B.V	Aumemnto no MTTF
SE-1	6000	0,13	782	1,25
SE-36	6000	0,09	536	1,12
SE-54	6000	1,37	8220	4,81
ETRA	6000	1,70	10202	3,75
IPT-1*	5000	0,94	4700	1,07
IPT-2*	16000	2,3	36800	6,40
UFRJ-0*	6000	0,88	5305	1,09
UFRJ-1*	5000	0,04	196	1,00
UFRJ-2*	5000	0,04	196	1,00
UFRJ-3*	5000	0,04	196	1,00
UFRJ-4*	5000	0,39	1965	1,35
UFRJ-5*	10500	0,88	9284	5,79

*Nesses experimentos não foi medido, efetivamente, o MTTF. Desse modo, um parâmetro equivalente foi utilizado, com base nos parâmetros apresentados no capítulo 3. Para UFRJ-0, foi considerada a razão entre fluxos, para UFRJ-1 a UFRJ-5, a razão entre massas depositadas. Para IPT-1 e IPT-2, foi considerado o aumento na proporção de vaterita.

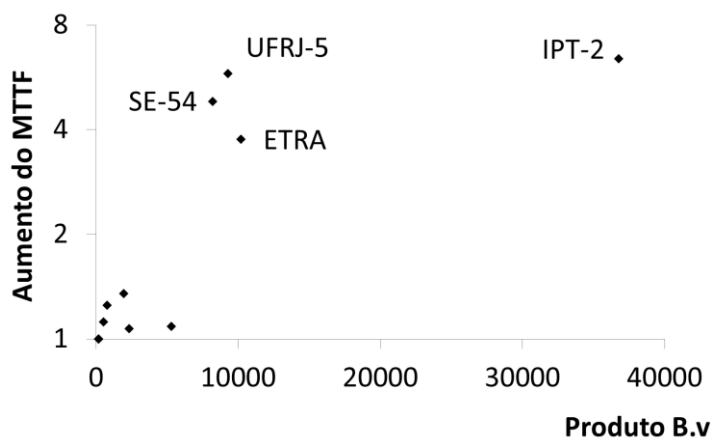


Figura 6 - Representação gráfica dos resultados.

Pode-se observar que há aumento significativo no MTTF a partir de um produto $B v$ de aproximadamente 7.000 Ga. m/s, o que corrobora o critério da literatura de utilização de uma configuração que garanta um produto $B v$ superior a 10.000 Ga. m/s.

6 Conclusão

Com base nos resultados obtidos, tem-se um indicativo consistente de que o produto $B v$ consiste em um critério de projeto coerente para prevenção de incrustação através da utilização de dispositivos magnéticos. Adicionalmente, com base no modelo desenvolvido, há também um indicativo de que os efeitos que fazem com que o campo magnético previna a incrustação ocorrem em uma escala em torno de $38 \mu m$. Isso é coerente com modelos que consideram que o campo possui atuação interfacial, indicando que esse é um caminho a ser seguido na busca de explicações físicas para o fenômeno. Finalmente, deve-se ressaltar a validade e coerência do critério de projeto proposto na literatura, que sugere um valor de produto $B v$ superior a 10.000 Ga.m/s, embora tenham sido obtidos resultados positivos a partir de 7.000 Ga.m/s. Pôde-se observar experimentalmente que aplicações nas quais esse critério era atendido apresentaram resultados positivos, enquanto aplicações nas quais esse critério não era atendido apresentaram resultados negativos.

7 Referências

Hidromag. 2017. Características Técnicas. *Hidromag*. [Online] 2017. [Citado em: 11 de junho de 2018.] <http://hidromag.com.br/homesite/caracteristicas-tecnicas/>.

IPT e Petrobras. 2013. *Revisão Bibliográfica sobre o Efeito do Campo Magnético na Precipitação de Carbonato de Cálcio e Outros Sais em Relação a seu potencial Inibidor de Incrustação*. Rio de Janeiro : s.n., 2013. RT IRF 16/2013.

Loureiro, J. B. R. 2013. *Avaliação de mecanismos de prevenção de incrustação no Simulador Multipropósito do LTEP.* Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 2013.

Loureiro, J. 2015. *Experimentos de Incrustação no Rig Multipropósito do LTEP.* LTEP/NIDF/UFRJ. Rio de Janeiro : s.n., 2015.

Loureiro, Juliana B. R. 2015. *Avaliação de mecanismos de prevenção de incrustação no Simulador Multipropósito do LTEP.* LTEP/UFRJ. Rio de Janeiro : s.n., 2015.

MAGTEK INC. 2014. Oil and Gas Production and Refining. *MAGTEK INC MAG WELL.* [Online] 2014. [Citado em: 23 de dezembro de 2016.] <http://www.magtekinc.com/oil-and-gas-production.html>.

Martins, A. L. 2014. *Dispositivos Magnéticos para Combate a Incrustações Carbonáticas.* Cenpes. Rio de Janeiro : s.n., 2014. RT PCP 001/2014.

Martins, A., et al. 2014. *Aplicação Bem Sucedida de Tecnologia de Campo Magnético para Prevenir Incrustação de Carbonato em Poço de Petróleo.* Brazil Onshore. 2014.

Petrobras. 2013. *Revisão Bibliográfica sobre o Efeito do Campo Magnético na Precipitação de Carbonato de Cálcio e Outros Sais em Relação a seu Potencial Inibidor de Incrustação.* Rio de Janeiro : s.n., 2013. RT IRF 116/2013.

Ribeiro, J. A. 2013. *Avaliação Parcial do Dispositivos Magnéticos Instalados na UO-RNCE para combate à incrustação carbonática.* RT IRF 019/2013. Rio de Janeiro : s.n., 2013.

Schlüter, Helga Elisabeth Pinheiro. 2014. *UTILIZAÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO NO CONTROLE DE FORMAÇÃO DE INCRUSTAÇÕES INORGÂNICAS EM MEMBRANAS DE OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE ÁGUAS COM ALTAS CONCENTRAÇÕES DE SAIS.* Rio de Janeiro : s.n., 2014.

Schlüter, Helga Elisabeth, et al. 2016. *Avaliação dos dispositivos magnéticos instalados na ETRA/CENPES para Controle da formação de incrustações em membranas de osmose inversa para aplicação de reúso em torres de resfriamento.* Rio de Janeiro : s.n., 2016. RT TTRA 003/2016.