

Cristalização inorgânica: uma análise bibliométrica

Inorganic crystallization: a bibliometric analysis

Inorganic crystallization: a bibliometric analysis

Alessandra Terezinha Silva Souza

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: aletssouza@gmail.com

Daniel da Cunha Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5257-9507>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: daniel.ribeiro@ufes.br

Recebido: 13/07/2018 – Aceito: 20/08/2018

Resumo

A incrustação inorgânica do carbonato de cálcio nos poros das rochas reservatório e nas linhas de produção é problema recorrente na indústria do petróleo, principalmente no pré-sal. De modo a determinar quais mecanismos tem maior influencia na formação dos cristais e as condições que os favorecem, realizou-se uma pesquisa bibliométrica na base SCOPUS®, analisando o volume de publicações na área e as mais recentes contribuições acerca dos processos de cristalização. A pesquisa buscou inicialmente artigos que continham as palavras “*Crystallization calcium carbonate*”, após um refinamento, foram escolhidos os 5 artigos mais recentes sobre o tema. Como resultados, a agregação foi apontada como o mecanismo de maior influência no entupimento dos poros e conseqüentemente, redução na permeabilidade da rocha porosa. Essa alteração da permeabilidade diminui a quantidade de óleo produzida e causa prejuízos na produção. Outro mecanismo apontado, foi o crescimento dos cristais, que pode ser inibido por meio de técnicas ultrassônicas.

Palavras-chave: Cristalização, Carbonato de cálcio, Incrustação inorgânica.

Abstract

Inorganic fouling of calcium carbonate in reservoir rock grains and production lines is a recurring problem in the oil industry, especially in the pre-salt.. In order to determine which mechanisms have the greatest influence on the formation of crystals and the conditions that promote them, a bibliometric study was carried out at the SCOPUS® base, analyzing the

volume of publications in the area and the most recent contributions on crystallization processes. The search started with articles that contained the words "Crystallization of Calcium Carbonate", after a refinement, were selected the 5 more recent studies. As results, the aggregation was pointed as the mechanism of greater influence in the pore clogging and, consequently, reduction in the permeability of the porous rock. This change in permeability decreases the amount of oil produced and causes losses in production. Another mechanism pointed out was the growth of crystals, which can be inhibited by means of ultrasonic techniques.

Keywords: Crystallization; Calcium carbonate; Inorganic fouling.

Resumen

La incrustación inorgánica del carbonato de calcio en los poros de las rocas reservorio y en las líneas de producción es un problema recurrente en la industria del petróleo, principalmente en el pre-sal. Para determinar qué mecanismos tiene mayor influencia en la formación de los cristales y las condiciones que los favorecen, se realizó una investigación bibliométrica en la base SCOPUS®, analizando el volumen de publicaciones en el área y las más recientes contribuciones acerca de los procesos de cristalización. La investigación buscó inicialmente artículos que contenían las palabras "Crystallization calcium carbonate", después de un refinamiento, fueron escogidos los 5 artículos más recientes sobre el tema. Como resultado, la agregación fue apuntada como el mecanismo de mayor influencia en el obstrucción de los poros y consecuentemente, reducción en la permeabilidad de la roca porosa. Esta alteración de la permeabilidad disminuye la cantidad de aceite producida y causa daños en la producción. Otro mecanismo señalado, fue el crecimiento de los cristales, que puede ser inhibido por medio de técnicas ultrasónicas.

Palabras clave: Cristalización, Carbonato de calcio, Incrustación inorgánica.

1. Introdução

Um dos problemas recorrentes na indústria petrolífera é a formação de incrustações nas linhas de produção e nos poros do reservatório. Esse fenômeno promove a redução do diâmetro do duto e aumento da perda de carga causando queda na vazão de produção, além da diminuição da permeabilidade da rocha, impactando financeiramente o projeto (SOARES, 2014).

No pré-sal, as incrustações carbonáticas são as mais encontradas, isso ocorre, devido à natureza das rochas reservatório. Os íons dissolvidos na fase aquosa, presente na rocha, se encontram inicialmente em equilíbrio termodinâmico, com o início da produção, as alterações na temperatura e pressão e até mesmo composição desta solução deslocam o equilíbrio de modo a provocar a precipitação do carbonato de cálcio (AFONSO e ANDRADE, 2017).

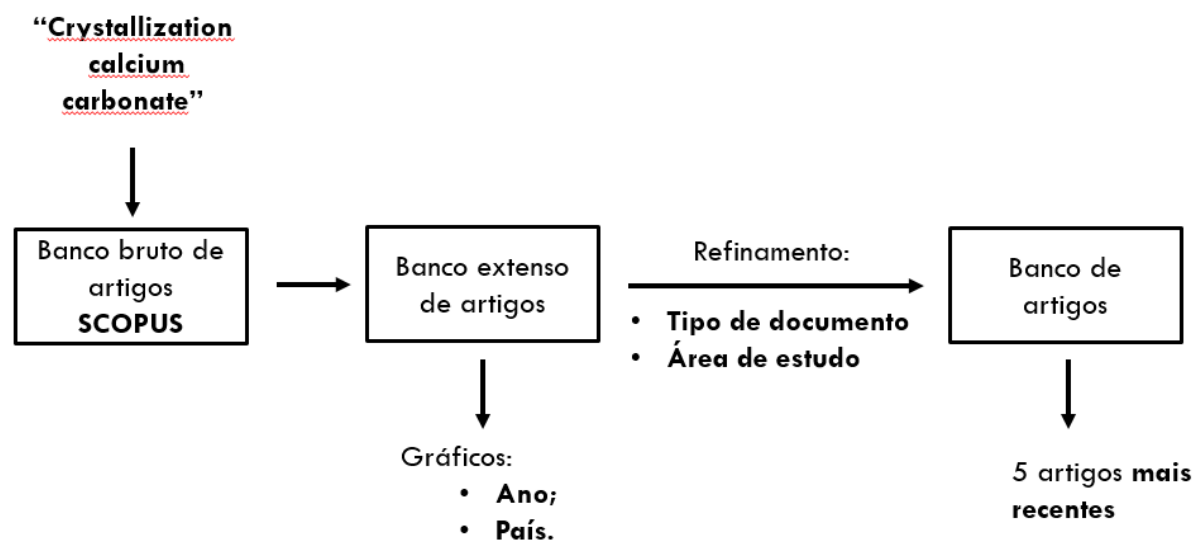
Os cristais podem ser formados por vários processos como nucleação, crescimento, quebra e agregação, ao mesmo tempo, se depositam nos dutos ou poros do reservatório, e se aderem a parede formando as incrustações.

De modo a determinar, dentre os mecanismos citados, quais tem maior influência na formação dos cristais e as condições que os favorecem, realizou-se uma pesquisa bibliométrica na base SCOPUS®, analisando o volume de publicações na área e as mais recentes contribuições acerca dos mecanismos de cristalização.

2. Metodologia

A revisão bibliométrica da base de dados SCOPUS® teve como ponto de partida a busca por trabalhos que apresentassem as palavras “*Crystallization calcium carbonate*” entre os anos 1950 e 2018 (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção.



Fonte: Os autores.

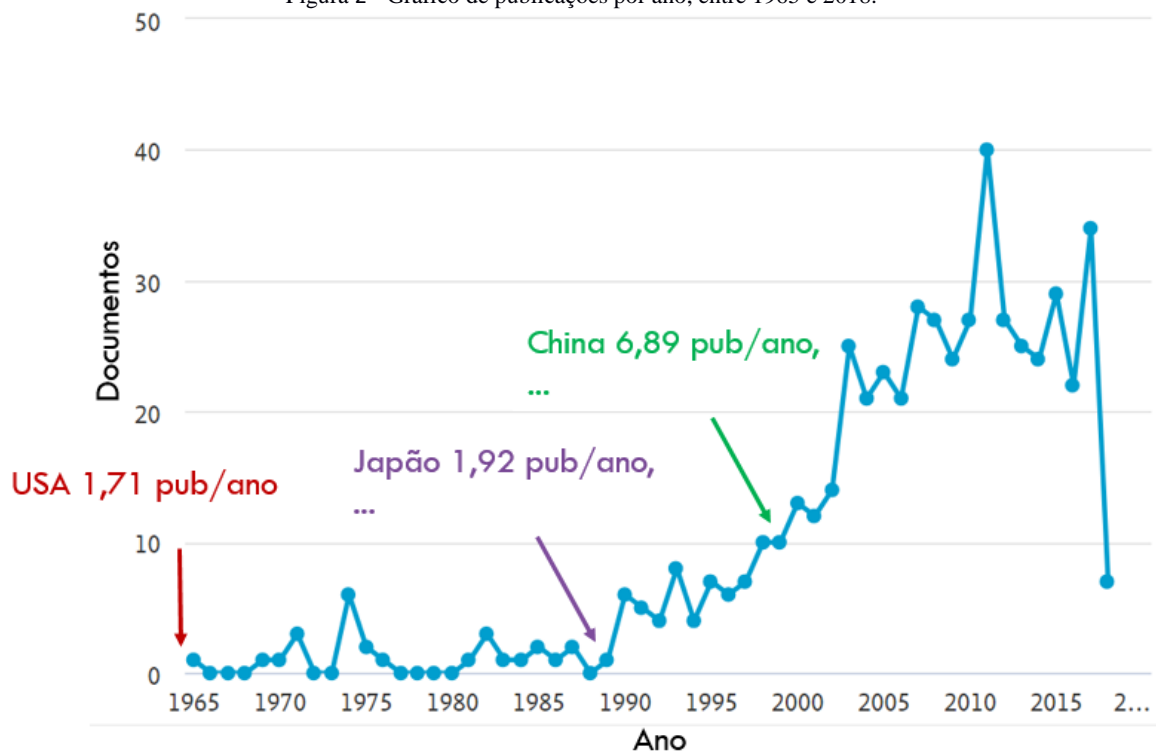
Com o conjunto de artigos gerados, foram elaborados gráficos para avaliar a

frequência de publicações por ano e por país. De modo a selecionar os trabalhos que melhor contribuam para a pesquisa, refinou-se o resultado selecionando apenas trabalhos nas áreas de química e engenharia de petróleo, considerando apenas artigos, como tipo de documento. Os trabalhos restantes foram listados por ordem cronológica, desse conjunto, selecionou-se os 5 artigos mais recentes, de onde se extraíram os principais resultados.

3. Resultados e discussões

Na pesquisa realizada na base SCOPUS, inicialmente foram encontrados 537 artigos, sendo o primeiro, publicado em 1965 com o título “*Studies on shell formation. XI. Crystal-matrix relationships in the inner layers of mollusk shells*” de Watabe, N.. A Figura 2, mostra o gráfico de publicações por ano e indica o início das publicações dos EUA, Japão e China sobre o tema, nesta base.

Figura 2 - Gráfico de publicações por ano, entre 1965 e 2018.

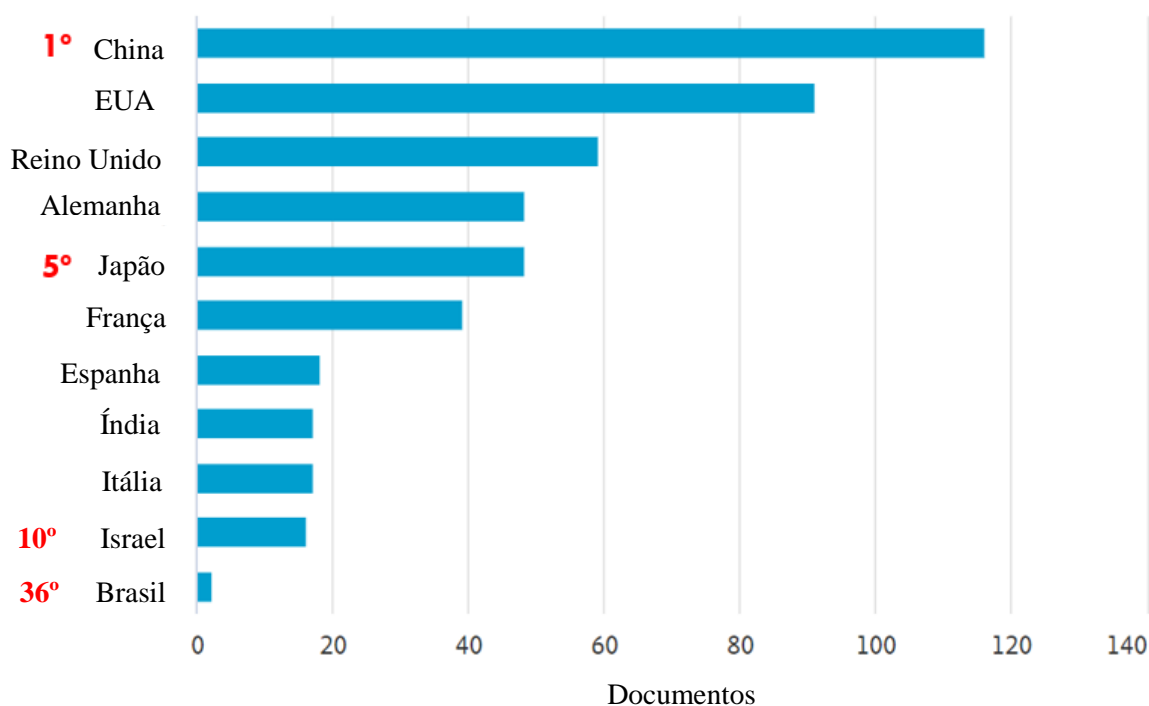


Fonte: SCOPUS, modificada pelos autores.

Entre 1965 e 1990, foram poucas publicações. A partir de 1990 e posteriormente em 2001, com as contribuições de países como Japão e China, a frequência de artigos cresceu, sendo a China, a maior contribuinte, com uma média de 6,89 artigos por ano, entre 2001 e 2018.

A Figura 3, apresenta a quantidade de publicações por país, até o dia 10 de julho de 2018, percebe-se que China, é o país com mais trabalhos,

Figura 3 - Gráfico de publicações por país.



Fonte: SCOPUS, modificada pelos autores.

A liderança chinesa é motivada pelo interesse do país no mercado de Precipitado de carbonato de cálcio (PCC), que pode ser utilizado na indústria de plásticos, tintas, pigmentos, papel, têxtil, borracha, entre outros. A fabricação do PCC requer um autocontrole do processo, um produto de qualidade possui uma pequena variação no tamanho das partículas, forma uniforme e estrutura cristalina definida, o que motiva estudos sobre processos de cristalização do carbonato de cálcio (XIANG *et al*, 2002).

Continuando a análise do bando de artigos gerado, o trabalho de Watabe (1965), ilustra a multidisciplinaridade do tema, sendo necessário refinar os resultados por área de pesquisa (química e engenharia de petróleo) e tipo de documento (artigo), resultando em 258 artigos. Destes, os cinco artigos mais recentes relacionados ao tema se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados dos 5 artigos mais recentes selecionados.

5 ARTIGOS MAIS RECENTES			
Autor (res)	Título	Mês/Ano	Nº de citações
Smeets, P.J.M., et al.	A classical view on nonclassical nucleation	Set/2017	6
Khormali, A., Petrakov, D.G. e Afshari Moein, M.J.	Experimental analysis of calcium carbonate scale formation and inhibition in waterflooding of carbonate reservoirs	Nov/2016	6
Pavlaou, E.I., et al.	Precipitation of sparingly soluble salts in packed sandbeds in the presence of miscible and immiscible organic substances	Feb/2016	2
Min, S., et al.	Ultrasonic crystallization of calcium carbonate in presence of seawater ions	Ago/2015	6
Eryürük, K., et al.	Reducing hydraulic conductivity of porous media using CaCO ₃ precipitation induced by <i>Sporosarcina pasteurii</i>	Mar/2015	6

Fonte: Os autores.

Eryürük *et al.* (2015), analisaram a cristalização de carbonato de cálcio induzida por *Sporosarcina pasteurii* e seus efeitos na permeabilidade do meio poroso. Nesse cenário, o agregamento entre os cristais precipitados foi apontado como maior responsável pelo fechamento dos poros.

Min *et al.* (2015), avaliaram a nucleação, o crescimento e a morfologia dos cristais de carbonato de cálcio formados na presença de água do mar sobre a influência de técnicas ultrassônicas. Os autores perceberam que o tratamento ultrassônico não só acelera a taxa de precipitação, como também, inibe o crescimento dos cristais, formando agregados compactos.

Pavlaou *et al.* (2016), investigaram a cristalização de carbonato de cálcio em arenitos na presença de solventes orgânicos simulando as condições de zonas de produção de petróleo. Foram realizados três experimentos variando as características da solução aquosa. Os resultados mostram que a interface óleo-água acelera o crescimento dos cristais resultando no entupimento dos poros e queda na permeabilidade da rocha.

Khormali, Petrakov e Moein *et al.* (2016), realizaram experimentos para descobrir os efeitos da composição do óleo na incrustação do CaCO₃. Os estudos mostraram que a redução da tensão interfacial pelo aumento da concentração de componentes orgânicos em 1,5%, diminuiu a precipitação em mais de 30%.

Smeets *et al.* (2017), estudaram o processo de nucleação do carbonato de cálcio a

partir de soluções supersaturadas. As simulações e experimentos realizados mostraram que nenhum núcleo maior do que 0.9 nm permanece estável após a nucleação e, que o cálcio presente na solução está predominantemente na forma de pares de íons, junto com aglomerados estocasticamente formados a partir da associação de íons e pares de íons, cuja quantidade diminui rapidamente com o aumento do tamanho do cluster.

4. Conclusão

A revisão bibliométrica realizada permitiu encontrar os avanços mais recentes no estudo da cristalização do carbonato de cálcio. Como mostrado no trabalho, este tema começou a se destacar por volta de 1990, tendo um crescimento mais acentuado em 2001, provocado pelo interesse do governo chinês.

A agregação foi apontada como o mecanismo de maior influência no entupimento dos poros e conseqüentemente, redução na permeabilidade da rocha porosa. Essa alteração da permeabilidade diminui a quantidade de óleo produzida e causa prejuízos na produção.

Outro mecanismo apontado, foi o crescimento dos cristais, que de acordo com Min *et al.* (2015), pode ser inibido por meio de técnicas ultrassônicas. Tanto nos reservatórios quanto nos equipamentos, a presença da interface água-óleo, acelera o crescimento dos cristais porém essa influência pode ser controlada alterando-se as propriedades dos fluidos envolvidos, reduzindo a precipitação em até 30% de acordo com o artigo apresentado.

Essas informações permitem compreender melhor o processo de formação dos cristais, e são de grande utilidade para os engenheiros de petróleo, que buscam as melhores condições de produção e garantia de escoamento.

Em trabalhos futuros, serão estudadas as abordagens matemática e numérica na modelagem da cristalização e incrustação em dutos e reservatórios, considerando os mecanismos de crescimento e agregação, com o intuito de realizar simulações computacionais para reproduzir esse fenômeno e melhor estudá-lo.

Referências

AFFONSO, B. F. e ANDRADE, C. P. S. de. **Estudo sobre Corrosão e Incrustação Inorgânica na Indústria de Petróleo com Ênfase no Desenvolvimento de um Combo Comercial para Tratamento Químico**. Dissertação (Bacharelado em Engenharia de Petróleo). Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ. 2017.

CRABTREE, M. *et al.*. Fighting scale-removal and prevention. **Oilfield Review**, p. 30-45, Autumn, 1999.

ERYÜRÜK, K. *et al.*. Reducing hydraulic conductivity of porous media using CaCO₃ precipitation induced by *Sporosarcina pasteurii*. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. vol. 119. Nº. 3, 331 – 336. 2015.

KHORMALI, A.; PETRAKOV, D. G. e MOEIN, M. J. A.. Experimental analysis of calcium carbonate scale formation and inhibition in waterflooding of carbonate reservoirs. **Journal of Petroleum Science and Engineering**. 147. 843–850. 2016.

MIN, S. *et al.* Ultrasonic Crystallization of Calcium Carbonate in Presence of Seawater Ions. **Desalination**. 369. 85–90. 2015.

PAVLAKOU, E. L. *et al.*. Precipitation of sparingly soluble salts in packed sandbeds in the presence of miscible and immiscible organic substances. **Crystal Research Technology**, 51, No. 2, 167–177. DOI 10.1002/crat.201500267. 2016.

SMEETS, P.J.M., *et al.*. **A classical view on nonclassical nucleation**. 2017.

SOARES, M. **Sistema de Detecção de Incrustações em Dutos de Transporte de Petróleo pela Técnica de Transmissão Gama**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2014.

XIANG, L. *et al.*. **Influence of chemical additives on the formation of super-fine calcium carbonate**. Powder Technology. Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, 2002.