

# ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE A INFLUÊNCIA DE SAIS NA REOLOGIA E ESTABILIDADE CINÉTICA DE EMULSÕES DE PETRÓLEO

Fellipe Augusto Graciano dos Santos<sup>1</sup>

Andressa Mathias Gonçalves<sup>2</sup>

Gabriella Carolina Lopes<sup>3</sup>

Jesuína Cassia Santiago de Araújo<sup>4</sup>

Ana Paula Meneguelo<sup>5</sup>

## RESUMO

A formação de emulsões, que pode ser encontrada em praticamente todas as etapas da exploração e produção do petróleo, pode comprometer a economicidade do processo, pois, em sua grande maioria, possuem viscosidade maior que a dos fluidos de origem, dificultando o seu escoamento. No petróleo os asfaltenos, parafinas, resinas e compostos oxigenados atuam como emulsificantes naturais que contribuem para a estabilização cinética das emulsões. A fase aquosa das emulsões de petróleo é oriunda da própria formação e do emprego de métodos de recuperação. De forma geral, são águas com alto teor de sais inorgânicos que, em muitos casos podem aumentar a estabilidade cinética das emulsões e causar problemas operacionais de corrosão. Entretanto, diversos fatores, atuando em conjunto, definem a estabilidade de uma emulsão de petróleo: composição do petróleo, composição da fase aquosa, cisalhamento imposto no processo de exploração e produção, dentre outros. Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão bibliométrica a respeito da influência de sais na reologia e estabilidade cinética das emulsões de petróleo, com a finalidade de mapear os trabalhos pertinentes sobre o tema. As produções foram obtidas a partir das palavras-chave pré-definidas, utilizando as bases *Scopus* e *Web of Science*, com uma abrangência temporal de 2016-2021. Foi possível identificar 7 (sete) artigos científicos de grande relevância, o ano de maior publicação foi 2018 e os Estados Unidos foi apontado como o país que apresenta o maior número de produções a respeito do tema.

**Palavras-chave:** Reologia, Emulsão, Cisalhamento interfacial, Petróleo.

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Engenharia de Petróleo da Ufes - ES, [fellipe.agds@gmail.com](mailto:fellipe.agds@gmail.com);

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Engenharia de Petróleo da Ufes - ES [andressa.m.goncalves@edu.ufes.br](mailto:andressa.m.goncalves@edu.ufes.br) ;

<sup>3</sup> Graduanda do Curso de Engenharia de Petróleo da Ufes - ES, [lopesgabriella447@gmail.com](mailto:lopesgabriella447@gmail.com);

<sup>4</sup> Professora orientadora: doutorado, Ufes - ES, [jesuina.araujo@ufes.br](mailto:jesuina.araujo@ufes.br).

<sup>5</sup> Professora orientadora: doutorado, Ufes - ES, [ana.meneguelo@ufes.br](mailto:ana.meneguelo@ufes.br).

## INTRODUÇÃO

As projeções de demanda energética apresentam aumento para os próximos anos, de acordo com o IEA, em 2026 o consumo global de petróleo deve chegar a 104,1 milhões de barris por dia (IEA 2021). Isso é compreendido devido a aplicabilidade da matriz petróleo em diversos ramos da economia mundial, sendo eles o setor da agricultura, transporte, fabril, dentre outros.

Sendo assim, o crescimento da demanda por petróleo traz consigo a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias, capazes de aperfeiçoar processos e, conseqüentemente, reduzir os custos nas atividades de exploração e de produção. É notório o interesse estratégico de grandes empresas do setor de petróleo de investir em inovações tecnológicas, que visem diminuir os custos operacionais, principalmente durante as atividades de produção. Contudo, nota-se que há muitos problemas que demandam solução urgente e que continuam sem respostas, em especial àqueles que envolvem a formação de emulsões durante a recuperação do óleo.

Emulsões são definidas como um sistema heterogêneo de pelo menos dois líquidos previamente imiscíveis sendo um chamado de fase contínua e o outro de fase dispersa. Podem ser classificadas em óleo em água (O/A), onde o óleo é a fase dispersa e a água é a fase contínua, e água em óleo (A/O) onde a água é a fase dispersa e o óleo é a fase contínua (SCHRAMM, 1992). A fase dispersa (interna) encontra-se distribuída em forma de gotículas no seio da fase contínua (externa). De forma geral, o sistema precisa de agentes externos para vencer a barreira termodinâmica: (i) A presença de um agente emulsificante que tem a função de estabilizar as gotas. (ii) Fornecer energia ao sistema através de agitação, cisalhamento ou turbulência. Em especial, os emulsionantes ou surfactantes têm duas funções básicas: a primeira é diminuir a tensão interfacial favorecendo a formação da emulsão, e a segunda é evitar coalescência da fase dispersa (VILLALOBOS, 2010).

As etapas de exploração, produção, recuperação, transporte e refino do petróleo, contêm todas as condições mínimas para a formação da emulsão: (i) o sistema é composto principalmente por dois líquidos imiscíveis entre si, água (salmoura) e óleo, (ii) há os surfactantes naturais, como asfalto e resinas (ARIFFIN, 2016) e, (iii) além disso, o cisalhamento imposto pelas válvulas *chokes*, bombas e outros equipamentos resultam na diminuição do tamanho das gotas e aumentando com isso a estabilidade das emulsões.

A presença de emulsões pode causar problemas que vão desde a produção até a fase de refino. Segundo ARAÚJO (2014) durante a produção há uma elevação nos custos com o escoamento do petróleo, devido ao aumento da viscosidade. No campo de produção o petróleo, por muitas vezes, é extraído na forma de emulsões, contendo porcentagens de água acima do permitido, sendo necessários tratamentos antes do bombeamento através dos oleodutos. Nas refinarias surgem as corrosões dos equipamentos, a perda de eficiência de conversão de processos catalíticos e a diminuição do valor comercial das frações mais pesadas, devido à elevação do teor de cinzas.

Nesse contexto, os estudos reológicos são utilizados com intuito de caracterizar as emulsões. A reologia estuda o comportamento e fluxo do fluido submetido a tensões, e a partir destes estudos, pode-se estimar parâmetros importantes dos sistemas emulsionados, pois a resposta viscoelástica está vinculada ao tamanho das gotas e interface durante o fluxo. A viscosidade, propriedade reológica de uma emulsão, é analisada através de tensões e taxas de cisalhamento.

Alguns estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de caracterizar o comportamento das emulsões de petróleo, em grande parte, analisando estabilidade e o tipo de fluxo. Em muitos casos, estabilidade e comportamento reológico estão interligados, pois a coalescência depende das propriedades reológicas da interface, bem como do tamanho e da concentração dos sólidos e moléculas na interface ou próximas à interface (OLIVEIRA, 2010).

O tema emulsão A/O e O/A vem sendo tratado com certa frequência na literatura. No entanto, ainda assim, tem-se pouco conhecimento sobre como se relacionam as propriedades reológicas e a estabilidade das emulsões devido a variedade de componentes intrínsecos do petróleo e suas corroborações em comportamentos mecânicos do fluido.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a revisão bibliométrica sobre a influência de sais na estabilidade cinética e reologia das emulsões de petróleo, analisando a literatura pertinente e apresentando os resultados das produções científicas relacionadas ao tema em questão.

## **METODOLOGIA**

### **Tipo de Estudo**

A presente análise foi desenvolvida a partir de uma pesquisa bibliométrica, com o objetivo de ampliar os conhecimentos referentes aos estudos relacionados ao tema “Influência de Sais na Reologia e Estabilidade Cinética de Emulsões de Petróleo”.

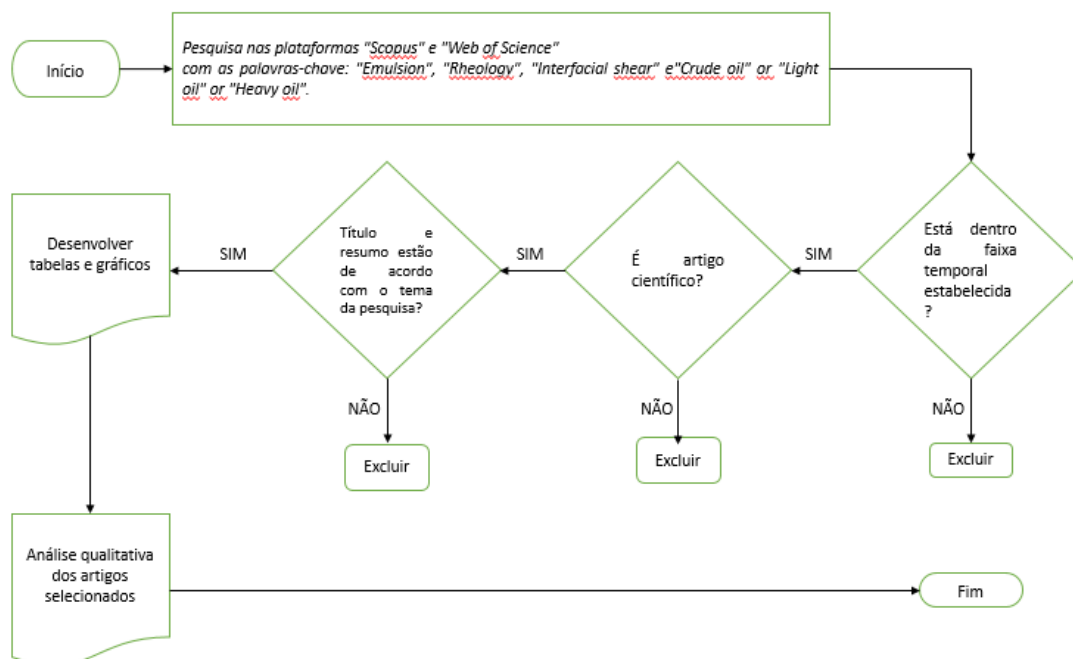
A bibliometria é um método de pesquisa que permite encontrar os artigos mais importantes publicados sobre determinado assunto (CUNHA 1985). Tal análise permite identificar os principais autores, as instituições mais produtivas e os trabalhos mais citados sobre um determinado assunto (AIOLFI 2019), facilitando a seleção de produções relevantes acerca do tema de pesquisa bem como uma análise quantitativa da área de estudo.

O estudo possui uma abordagem quantitativa, tendo em vista que procura quantificar algumas variáveis referentes ao assunto de pesquisa.

### Definição da amostra

A revisão bibliométrica teve como foco a busca por artigos relacionados à influência de sais na estabilidade cinética e reologia de emulsões de petróleo, e foi realizada seguindo as ações para seleção/exclusão dos trabalhos científicos, a partir de critérios pré-estabelecidos, que estão esquematizados no fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa



Os dados para a realização da pesquisa foram coletados nas bases *Web of Science* e *Scopus*. A base *Web of Science* é uma plataforma referencial de citações científicas, por meio dela estão disponíveis ferramentas para análise de citações, referências e índice h de

aproximadamente 12.000 periódicos. Já a base *Scopus* possui dados de resumos e citações de literatura revisada por pares, com ferramentas bibliométricas que auxiliam na análise e visualização da pesquisa. Possui cerca de 22.000 títulos abrangendo diversas áreas de estudo.

As palavras-chave utilizadas para a realização da etapa de pesquisa foram: “emulsion” (emulsão), “rheology” (reologia), “interfacial shear” (cisalhamento interfacial) e “crude oil OR light oil OR heavy oil” (petróleo bruto OU petróleo leve OU petróleo pesado).

A busca foi delimitada no período de 2016 a 2020 (5 anos), e em seguida foi iniciado o refinamento de acordo com as variáveis pré-estabelecidas. Após a análise temporal, foram selecionados somente os documentos do tipo “artigo científico”, retirando capítulos de livro, conferências e outros.

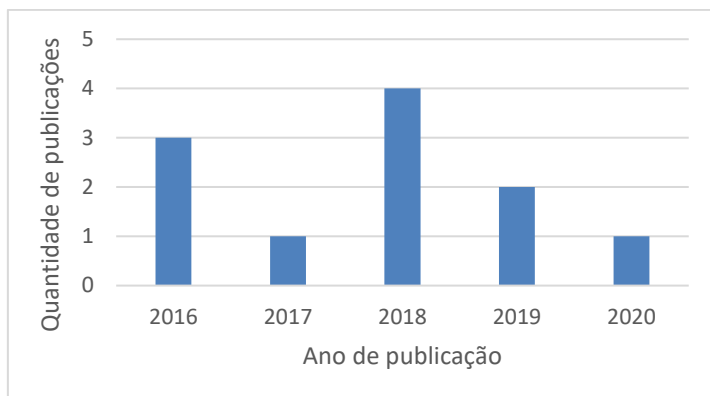
Finalizada a pesquisa, foi realizado um tratamento no *software* Rstudio, com o intuito de unir os resultados das bases pesquisadas e excluir os artigos quem foram encontrados em duplicidade. Em seguida, os trabalhos foram avaliados quanto ao tema, se estavam ou não relacionados análise da reologia e estabilidade cinética de emulsões de petróleo, através de leitura prévia do título e resumo.

Uma vez concluída estas etapas os trabalhos foram analisados e realizada a análise descritiva dos resultados, por meio de leitura dos artigos, e da produção científica sobre o tema.

## RESULTADOS

A busca nas bases *Web of Science* e *Scopus*, pesquisando as palavras-chave nos títulos e resumos, encontrou-se 7 e 9 artigos respectivamente, dentro da faixa de tempo determinada. A análise quantitativa do número de publicações por ano, revela que o tema vem sendo explorado com ao menos 1 publicação por ano (Figura 2). O destaque de produções de artigos em 2018 foi o pico das contribuições, que começou a reduzir desde então.

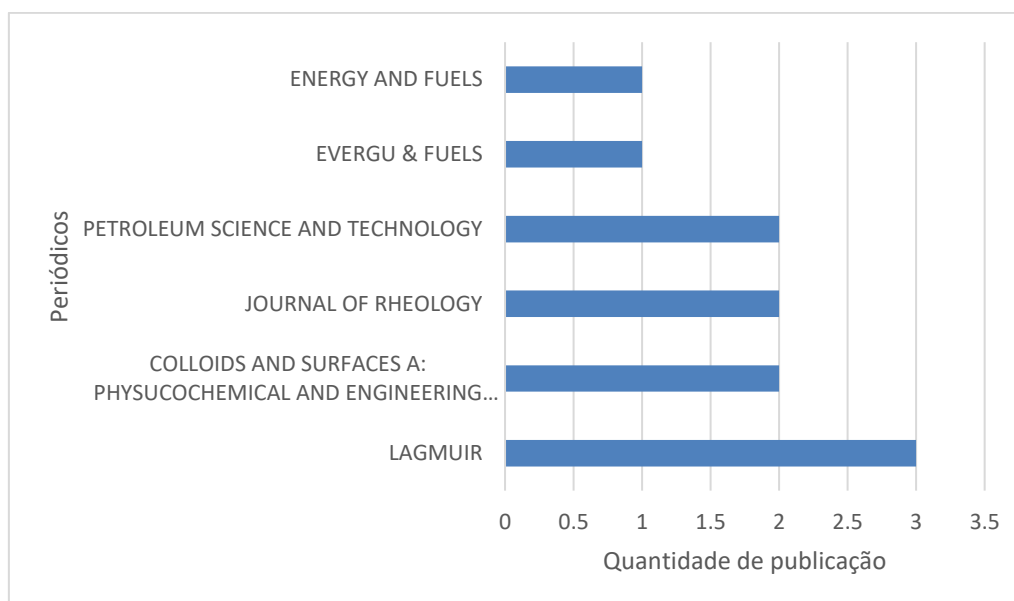
Figura 2 – Quantidade de publicações por ano de publicação.



As motivações de pesquisa sobre o tema podem estar relacionadas ao crescimento da indústria no período analisado. O ano de 2018 teve um aumento na produção de 2,2 milhões barris/dia em relação ao ano de 2017 (2,4%), passando de 92,5 milhões de barris/dia para 94,7 milhões de barris/dia (ANP). Considerando que petróleo contém emulsificantes naturais e sua produção com desafios maiores a cada ano, entender como as emulsões se estabilizam e atuam durante o processo, torna-se fundamental.

Os trabalhos encontrados foram distribuídos de acordo com as fontes de publicação (Figura 3). Mesmo sendo poucos estudos, o periódico Lagmuir se destaca com 3 publicações. O periódico possui foco na ciência e aplicação de sistemas e materiais, possui um fator de impacto 3.557 e gerou 118,036 citações em 2019.

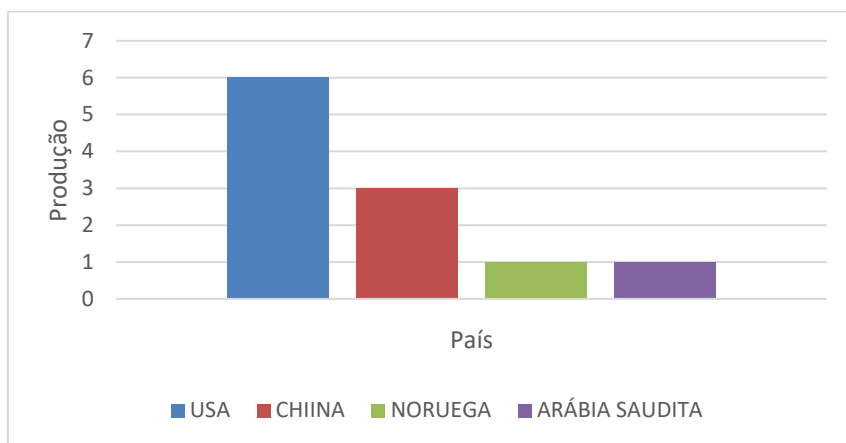
Figura 3 – Quantidade de publicações por periódicos



A Figura 4 apresenta a quantidade de produção por país. O destaque de tal análise é o Estados Unidos com 6 publicações, das quais 3 foram publicações do próprio país e as outras 3 em conjunto com outros países, seguido da China com 3 publicações.

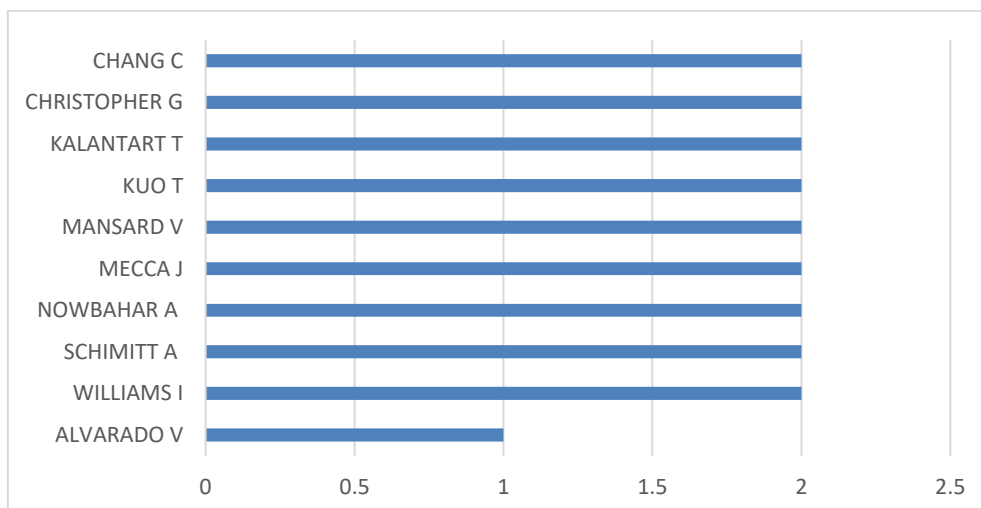
EUA é o primeiro no *ranking* de países produtores (IBP) e a China é um dos maiores consumidores de petróleo do mundo, o que pode justificar a presença desses dois países no topo de pesquisas sobre o tema. Observa-se que o Brasil não está entre os países produtores de artigos sobre o tema proposto, o que pode demonstrar que o país ainda não possui estudos de relevância sobre o tema pesquisado.

Figura 4 – Produções por país



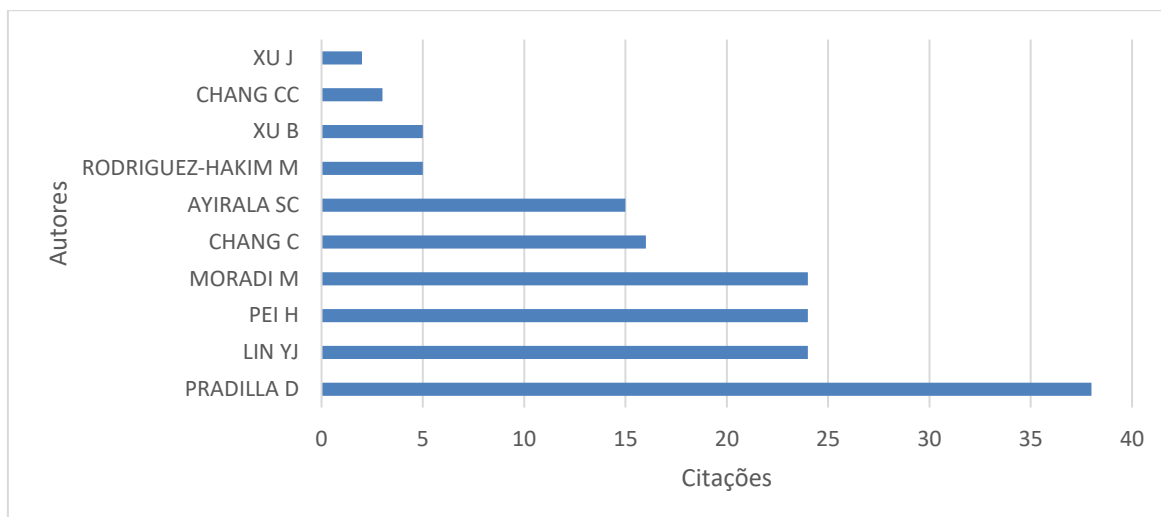
Os 10 autores que mais publicaram são apresentados na Figura 5 abaixo. A maioria publicou duas vezes, apresentando uma multiplicidade e diversidade quanto a autoria dos trabalhos.

Figura 5 – Autores que mais publicaram



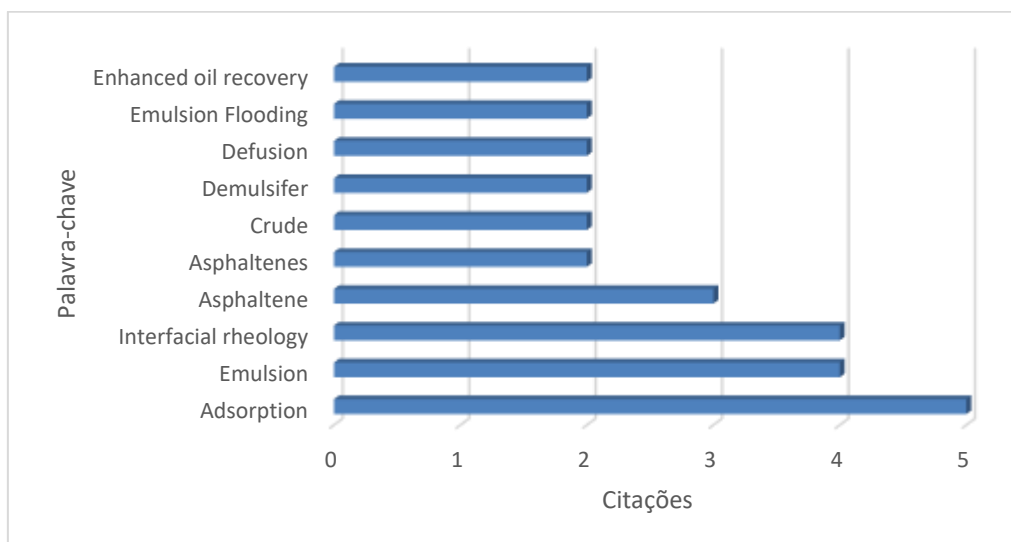
Os autores que mais tiveram trabalhos citados foram PRADILLA D com 38 citações e os autores LIN YJ, PEI H e MORADI M com 24 citações cada (Figura 6). Cada autor representa uma universidade situada dentre os países de publicação, o que pode sugerir uma pluralidade de correspondência dos autores mais citados sobre o tema.

Figura 6 – Autores com maior número de citações



Ao se analisar as palavras-chave mais relevantes presentes nos artigos publicados observou-se “adsorption” e “emulsion” as mais frequentes (Figura 7). Observa-se que dentre as palavras-chave mais citadas, as escolhidas neste trabalho estão presentes, mostrando consonância com o tema de pesquisa e presentes nas melhores produções.

Figura 7 – Palavras-chave mais relevantes





## DISCUSSÃO

Os artigos que foram obtidos com a pesquisa foram lidos e feita a análise qualitativa quanto aos resultados encontrados.

Tabela 1 – Relação dos artigos obtidos após revisão bibliométrica

Título	Referência	País	Pontos principais
Asphaltene-induced spontaneous emulsification: Effects of interfacial co-adsorption and viscoelasticity	Hakim <i>et al.</i> (2020)	EUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreender a formação de emulsões espontâneas com a utilização de melhoradores de fluxo poliméricos, investigação dos mecanismos de emulsificação espontânea e caracterização da resposta viscoelástica de asfalto;</li> <li>• Com a adição do melhorador de fluxo polimérico, o início e extensão da emulsificação espontânea foram quase inteiramente suprimido;</li> <li>• Interface viscoelástica é inversamente proporcional à taxa de emulsificação espontânea.</li> <li>• A adição de polímero leva a um acúmulo de rede viscoelástica que impede a emulsificação.</li> </ul>
Combined interfacial shear rheology and microstructure visualization of asphaltenes at air-water and oil-water interfaces	Lin <i>et al.</i> (2018)	EUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisa a reologia dos asfaltenos em interfaces ar-água e óleo-água e na presença de dispersantes;</li> <li>• Filmes elásticos de asfaltenos foram observados em agregados de multicamadas. Os dispersantes atuam tornando a camada menos elástica.</li> </ul>
Two component model oils for interfacial shear characterization	Rahman <i>et al.</i> (2019)	EUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos de dois componentes para estudo da deformação interfacial dos filmes de asfaltenos e sua reologia.</li> <li>• Filmes de asfalto possuem comportamento diferentes dos filmes de petróleo bruto, o que pode ser melhorado com a adição de outras subfrações de asfaltenos ou co-surfactantes encontrados no petróleo bruto. Entretanto, o modelo representa, razoavelmente, as interfaces de petróleo bruto no cisalhamento interfacial.</li> </ul>

<p>Sorption and interfacial rheology study of model asphaltene compounds.</p>	<p>Pradilla <i>et al.</i> (2016)</p>	<p>Noruega</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asfaltenos estabilizam emulsões A/O formando um filme interfacial que tem o comportamento reológico de materiais vítreo-macios, apesar de ser menos evidente em testes de dilatação;</li> <li>• O composto poliaromático ácido (C5PeC11) foi analisado para avaliar o comportamento viscoelástico do filme interfacial, mostrando boa performance em testes de fadiga;</li> <li>• Comportamento mecânico com alta dependência ao pH. Isto é, diminuição da tensão artificial (modulo de elasticidade) causa aumento do pH.</li> </ul>
<p>Influence of Aqueous-Phase Ionic Strength and Composition on the Dynamics of Water-Crude Oil Interfacial Film Formation</p>	<p>Moradi &amp; Alvarado (2016)</p>	<p>EUA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O aumento da força iônica da fase aquosa em emulsões A/O e o teor de asfaltenos e naftenos diminui a estabilidade da emulsão;</li> <li>• A dependência da viscosidade e temperatura gera adsorção de materiais polares no filme interfacial, aumentando o modulo de elasticidade.</li> </ul>
<p>Interfacial rheology and heterogeneity aging asphaltene layers at the water-oil interface</p>	<p>Chang <i>et al.</i> (2018)</p>	<p>EUA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os asfaltenos podem ser absorvidos nas interfaces água-óleo para formar filmes interfaciais viscoelásticos que retardam ou evitam a coalescência.</li> <li>• O decaimento de deformação anisotrópico sugere que há heterogeneidade dentro das interfaces.</li> </ul>
<p>Coalescence of Crude Oil Droplets in Brine Systems: Effect of Individual Electrolytes</p>	<p>Ayirata <i>et al.</i> (2018)</p>	<p>EUA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O módulo viscoso/elástico é maior para salmouras compostas de íons sulfato do que para salmouras com íons de sódio, cálcio e magnésio.</li> <li>• O tempo de transição para a interface se tornar elástica-dominante de um regime viscoso é menor para a salmora de sulfato.</li> <li>• A repulsão eletrostática mais forte é entre salmouras de sódio e sulfato.</li> <li>• Íons <math>Mg^{2+}</math> e <math>Ca^{2+}</math> podem desestabilizar o filme interfacial para promover a coalescência entre as gotas de óleo e permitir uma mobilização mais rápida do óleo em processos de inundação.</li> </ul>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o crescente aumento pela demanda de petróleo no mundo, é notório, pela análise bibliométrica concluída, que são realizados vários estudos e pesquisas para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos processos da cadeia de produção do petróleo.

Na realização da revisão bibliométrica houve foco em busca por artigos que estejam relacionados à influência de sais na estabilidade cinética e reologia de emulsões de petróleo. Com base na análise quantitativas, foi observado que os Estados Unidos é o país que mais realiza publicações e que a China fez parte de 50% das publicações no período observado. As publicações da Arábia Saudita e Noruega foram feitas com a colaboração de autores de outros países, enquanto metade das publicações dos Estados Unidos e a China publicaram sem colaboração. Já, na análise qualitativa dos artigos, é observado a grande realização de testes experimentais laboratoriais para entender o comportamento das emulsões de petróleo em diversas circunstâncias (com ou sem adição de polímeros, dispersantes e/ou asfaltenos).

Para a análise bibliométrica realizada foram coletados dados das bases *Web of Science* e *Scopus*, ou seja, apenas uma base de dados específica. Assim, deixamos como estímulo para estudos futuros, que haja uma maior amplitude, abrangendo, por exemplo, anais, eventos técnicos e acadêmicos e workshop.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP –, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCTI 53.1.

## **REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, T.C.A. Avaliação da estabilidade de emulsões concentradas em bebidas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, junho de 2012.

Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2019. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro: ANP, 2019-Disponível em:< <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2019#Apresenta%C3%A7%C3%A3o>> Acesso em 20 de abr de 2021.

ARIFFIN, Tajnor Suriya Taju et al. The Rheology of Light Crude Oil and Water-In-Oil-Emulsion. *Procedia Engineering* 148, p.1149-1155, 2016.

AYIRALA S; YOUSEF A; LI Z; XU Z. Coalescence of Crude Oil Droplets in Brine Systems: Effect of Individual Electrolytes. *Energy Fuels* 2018, 32, 5, 5763–5771. Publication Date: April 17, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b00309>

BOTELHO, L.L.R.; et al. Revisão Bibliométrica Sobre Mudança Organizacional e Aprendizagem Gerencial em uma Organização Intensiva em Conhecimento. Associação Nacional de Pós-graduação e pesquisa em administração. Rio de Janeiro, setembro de 2011. Disponível

em: <[http://www.anpad.org.br/eventos.php?cod\\_evento=1&cod\\_edicao\\_subsecao=736&cod\\_evento\\_edicao=58&cod\\_edicao\\_trabalho=13172](http://www.anpad.org.br/eventos.php?cod_evento=1&cod_edicao_subsecao=736&cod_evento_edicao=58&cod_edicao_trabalho=13172)>. Acesso em 20 de abr de 2021.

CASSUNDÉ, F.R.S.A.; et al. Inf. ENTRE REVISÕES SISTEMÁTICAS E BIBLIOMETRIAS: COMO TEM SIDO MAPEADA A PRODUÇÃO ACADÊMICA EM ADMINISTRAÇÃO NO BRASIL? *Inf Londrina*, v. 23, n. 1, p. 311 – 334, jan./abr. 2018. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/informacao/>. Acesso em 18 de abr de 2021.

CHANG C; NOWBAHAR A; MANSARD V; WILLIAMS I; MECCA J; SCHMITT A; KALANTAR T; KUO T; SQUIRES T. Interfacial Rheology and Heterogeneity of Aging Asphaltene Layers at the Water–Oil Interface. *Langmuir* 2018, 34, 19, 5409–5415. Publication Date: April 23, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00176>

CUNHA, M. V. da. (1). Os periódicos em ciência da informação: uma análise bibliométrica. *Ciência Da Informação*, 14(1). Recuperado de <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/225>.

DORNELAS, V. F.; LIMA, P. R.; MENEGUELO, A.; ARAÚJO, J. C. C. S. de; MENEGUELO, A. P. Bibliometric and bibliographical analysis on the use of crude oil treatment/recovery techniques from solid waste produced by the petroleum production chain. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 8, n. 12, p.e218121596, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i12.1596. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1596>. Acesso em: 20 abr. 2021.

HARBOTTLE D, CHEN Q, MOORTHY K, WANG L, XU S, LIU Q, SJOBLOM J, Xu Z. Problematic stabilizing films in petroleum emulsions: shear rheological response of viscoelastic asphaltene films and the effect on drop coalescence. *Langmuir*. 2014 Jun 17;30(23):6730-8. doi: 10.1021/la5012764. Epub 2014 Jun 4. PMID: 24845467.

HARTLAND, S; JEELANI, S.A.K. Prediction of Sedimentation and Coalescence Profiles in a Decaying Batch Dispersion. *Chemical Engineering Science*, Vol. 43, No 9, p. 2421-2429, 1988.

IILDA, Patrícia Hiromi et al. Estudo do efeito da água em emulsões de petróleo. 4º PDPETRO, Campinas, SP, outubro, 2007.

KILPATRICK, Peter K. Water-in-Crude Oil Emulsion Stabilization: Review and Unanswered Questions. *Energy Fuels*, 26, p.4017-4026, 2012.

LIN Y; BARMAN S; HE P; ZHANG Z; CHRISTOPHER G; BISWAL S. "Combined interfacial shear rheology and microstructure visualization of asphaltenes at air-water and oil-water interfaces", *Journal of Rheology* 62, 1-10 (2018) <https://doi.org/10.1122/1.5009188>

MORADI M;ALVARADO V. Influence of Aqueous-Phase Ionic Strength and Composition on the Dynamics of Water–Crude Oil Interfacial Film Formation. *Energy Fuels* 2016, 30, 11, 9170–9180. Publication Date:October 17, 2016.  
<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01841>

Observatório do Setor. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. Disponível em:<  
<https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundiais-de-petroleo-em-2019/>>. Acesso em: 17 abr de 2021.

OLIVEIRA, C.B.Z. Reologia interfacial cisalhante de sistemas água/petróleo e sua relação com a estabilidade de emulsões. Tese de pós-graduação. Universidade Tiradentes, Aracaju, SE, maio de 2014.

PRADILLA D; SIMON S; SJOBLM J;SAMANIUK J;SKRZYPIEC M;VERMANT J. Sorption and Interfacial Rheology Study of Model Asphaltene Compounds. *Langmuir* 2016, 32, 12, 2900–2911. Publication Date:March 7, 2016.  
<https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b00195>

RAHMAN M; ZHAO X;CHRISTOPHER G. Two component model oils for interfacial shear characterization, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 583, 2019, 123780, ISSN 0927-7757, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.123780>.

RODRIGUEZ-HAKIM M;ANAND S;TAJUELO J;YAO Z;KANNAN A;FULLER G , "Asphaltene-induced spontaneous emulsification: Effects of interfacial co-adsorption and viscoelasticity" , *Journal of Rheology* 64 , 799-816 (2020) <https://doi.org/10.1122/1.5145307>

SPIECKER PM, KILPATRICK PK. Interfacial rheology of petroleum asphaltenes at the oil-water interface. *Langmuir*. 2004 May 11;20(10):4022-32. doi: 10.1021/la0356351. PMID: 15969394.

UMAR, Abubakar et al. A review of petroleum emulsions and recente progress on water-in-crude oil emulsions stabilized by natural surfactants and solids. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 165, p.673-690, 2018.