



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Instituto de Química

Andressa Amorim Daás

**Utilização do *Roadmap* para verificar tendências relacionadas à
minimização da incrustação de carbonato de cálcio em sistemas de
produção e exploração de óleo e gás**

Rio de Janeiro

2021

Andressa Amorim Daás

Utilização do *Roadmap* para verificar tendências relacionadas à minimização da incrustação de carbonato de cálcio em sistemas de produção e exploração de óleo e gás.

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof.º Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo

Rio de Janeiro

2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/Q

D111 Daás, Andressa Amorim

Utilização do Roadmap para verificar tendências relacionadas à minimização da incrustação de carbonato de cálcio em sistemas de produção e exploração de óleo e gás. – 2021.

138 f.

Orientador(a): Marco Antonio Gaya de Figueiredo

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Química.

1. Incrustação – Teses. 2. Petróleo – Teses. I. Figueiredo, Marco Antonio Gaya de. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Química. III. Título.

CDU 665.61.7

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Andressa Amorim Daás

Assinatura

14/01/2022

Data

Andressa Amorim Daás

**Utilização do *Roadmap* para verificar tendências relacionadas à minimização da
incrustação de carbonato de cálcio em sistemas de produção e exploração de óleo e gás.**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Química pelo Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Química da Universidade do
Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 12 de Novembro de 2021.

Orientadores:

Prof. Dr. Marco Antonio Gaya de Figueiredo

Instituto de Química – UERJ

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Márcio Luis Lyra Paredes

Instituto de Química - UERJ



Dra. Taís Neno dos Santos

Fundação Gorceix/Petrobras/Cenpes



Prof. Dr. Harrison Lourenço Corrêa

Universidade Federal do Paraná

Rio de Janeiro

2021

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marcio e Ana Paula, por todo amor, incentivo, dedicação, disponibilidade e paciência ao longo de toda a minha vida, que foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

Ao meu marido, Adriano, por todo carinho, amor e paciência durante todo o curso e por estar sempre presente em cada decisão na minha vida.

Ao meu orientador, Marco Antonio, por toda atenção, paciência e disponibilidade. Agradeço também por todos os conselhos, não só para a elaboração deste trabalho, mas também para minha vida pessoal e profissional.

Às minhas amigas, por toda compreensão, carinho, incentivo e paciência, mesmo quando foi necessário estar ausente.

Agradeço a UERJ pela oportunidade e pela excelência de ensino e aos professores, por todos os ensinamentos e dedicação.

RESUMO

DAÁS, A. A. *Utilização do roadmap para verificar tendências relacionadas a minimização da incrustação de carbonato de cálcio em sistemas de produção e exploração de óleo e gás*. 2021. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

O acúmulo de sais inorgânicos de baixa solubilidade é uma das causas da formação de incrustação mineral em superfícies. A formação de incrustação nos equipamentos e nas linhas dos processos de exploração e produção de petróleo pode causar problemas operacionais, danos às tubulações e equipamentos, e ainda afetar o escoamento de fluido. Sendo assim, esse é um problema de grande importância na indústria de óleo e gás, já que pode acarretar perda de produção e aumento nos custos com manutenções e paradas. A formação de incrustação inorgânica pode ser causada pelo acúmulo de vários tipos de sais de baixa solubilidade, porém nesse estudo o foco será a formação de incrustação de carbonato de cálcio (CaCO_3), que é um sal inorgânico abundante em muitos campos petrolíferos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho consiste em verificar tendências relacionadas a remediação dos problemas de incrustação de CaCO_3 nos processos de exploração e produção de petróleo. O trabalho foi realizado utilizando o método *technology roadmaping* (TRM), que tem como característica uma abordagem estratégica para o gerenciamento e planejamento da inovação, buscando entender a evolução tecnológica de um produto ou processo. Essa abordagem inclui dois aspectos principais, que são a aplicação (o processo de *roadmapping*) e o resultado da aplicação (um mapa, o *roadmap*). A partir da realização do trabalho foi possível perceber como progrediram as publicações referentes ao assunto, a identificação de soluções para remediação do problema de incrustação e ainda, analisar as tendências dos estudos em relação a minimização de incrustação na indústria petrolífera. Identificou-se, dentro das pesquisas realizadas, que no curto e médio prazo (patentes concedidas e solicitadas) somente apareceram os inibidores químicos e dispositivos físicos como formas de remediação. Já no longo prazo (artigos científicos), foram observados como produtos para remediação os inibidores químicos, os dispositivos físicos e os revestimentos. Apesar disso, foi observado que o uso de inibidores químicos ainda é o mais comum no que diz respeito à minimização da incrustação, tanto nas patentes quanto nos artigos. Verificou-se o aparecimento de estudos de produtos ambientalmente amigáveis, mostrando uma preocupação ambiental com os resíduos gerados. Além disso, foi realizada uma análise dos trabalhos encontrados que foram publicados no Brasil, revelando que no geral, apesar de o Brasil ter uma grande empresa no ramo de óleo e gás, poucas publicações foram observadas.

Palavras-chave: Incrustação. CaCO_3 . Remediação. Inibição. *Technology roadmap*. *Roadmap*. Petróleo.

ABSTRACT

DAÁS, A. A. *Use of the roadmap to check trends related to minimization of calcium carbonate scale in oil and gas production and exploration systems*. 2021. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

The accumulation of inorganic salts with low solubility is one of the causes of mineral scale formation on surfaces. The formation of scale in equipment and in the lines of oil exploration and production processes can cause operational problems, damage to pipes and equipment, and also affect fluid flow. Therefore, this is a problem of great importance in the oil and gas industry, as it can lead to loss of production and increase in costs with maintenance and stoppages. Inorganic scale formation can be caused by the accumulation of various types of inorganic salts with low solubility, but in this study the focus will be on the formation of calcium carbonate scale (CaCO_3), which is an inorganic salt that is abundant in many oil fields. Thus, the objective of this work is to verify trends related to the remediation of CaCO_3 scale problems in oil exploration and production processes. The work was carried out using the technology roadmapping (TRM) method, which features a strategic approach to innovation management and planning, seeking to understand the technological evolution of a product or process. This approach includes the two main aspects, which are an application (the roadmapping process) and the result of the application (a map, or roadmap). From the completion of the work, it was possible to see how the publications on the subject are progressing, the identification of mitigation solutions for the scale problem and analyze the trends of studies in relation to the minimization of scale in the oil industry. It was identified, within the research carried out, that in the short and medium term (patents granted and applied for) only chemical inhibitors and physical devices appeared as forms of mitigation. In the long term (scientific articles), chemical inhibitors, physical devices and coatings were seen as mitigation products. Despite this, it was observed that the use of chemical inhibitors is still the most common with regard to the minimization of scaling, both in patents and in articles. It was verified the appearance of studies of environmentally friendly products, showing an environmental concern with the generated waste. In addition, an analysis of the works found that were published in Brazil was carried out, revealing that in general, despite Brazil having a large company in the oil and gas sector, few publications were observed.

Keywords: Scaling. CaCO_3 . Remediation. Inhibition. Technology roadmap. Roadmap. Petroleum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Quantidade de documentos por ano.	17
Figura 2 - Exemplos de ocorrência de incrustações.	19
Figura 3 - Agrupamentos por cocitação dos autores (1992-2017).	37
Figura 4 - Evolução temporal do roadmap.	40
Figura 5 - Evolução temporal do roadmap.	40
Figura 6 - Levantamento do roadmap por áreas.	41
Figura 7 - Evolução temporal do roadmap utilizando filtros de área de estudo.	42
Figura 8 – Camadas e linhas do tempo utilizadas no roadmap.	47
Figura 9 - Arquitetura de um roadmap.	48
Figura 10 – Matriz do roadmapping formada pelas perguntas fundamentais que se relacionam com a linha do tempo e com as camadas.	49
Figura 11 – Metodologia para construção do roadmap tecnológico.	58
Figura 12 - Taxonomia	61
Figura 13 - Quantidade de patentes concedidas por método de inibição.	71
Figura 14 - Quantidade de patentes solicitadas por ano de publicação.	74
Figura 15 - Quantidade de documentos por ano de publicação sem aplicação de filtros, análise histórica (Scopus)	79
Figura 16 - Quantidade de documentos por ano de publicação (Scopus).	80
Figura 17 - Quantidade de artigos dos dez primeiros países (Scopus).	80
Figura 18 - Percentual de documentos por tipo de instituição.	81
Figura 19 - Percentual dos artigos em relação aos métodos de inibição de incrustação por CaCO_3	82
Figura 20 - Quantidade de documentos por método de inibição e por ano de publicação.	82
Figura 21 - Quantidade de documentos por tipo de inibidores químicos.	83
Figura 22 - Quantidade de documentos sobre inibidor verde por ano.	84
Figura 23 - Quantidade de documentos por tipo de dispositivo físico.	84
Figura 24 - Exemplo de colocação das linhas guias e da intercessão com as setas indicativas.	87
Figura 25 - Subdivisão da taxonomia para Mercado.	89
Figura 26 – Subdivisão da taxonomia para Produto.	89

Figura 27 - Subdivisão da taxonomia para Tecnologia.	90
Figura 28 - Roadmap de curto prazo.	92
Figura 29 - Roadmap de médio prazo.	95
Figura 30 - Roadmap de longo prazo (Parte 1).	100
Figura 31 - Roadmap de longo prazo (Parte 2).	101
Figura 32 - Roadmap de longo prazo (Parte 3).	102
Figura 33 - Roadmap representando os trabalhos realizados no Brasil.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de buscas feitas na base Scopus para justificar a pesquisa.....	17
Tabela 2 - Tipos mais comuns de incrustação em campos petrolíferos.	21
Tabela 3 - Exemplos de métodos de prevenção e controle de incrustação inorgânica.....	27
Tabela 4 - Perguntas relacionadas a linha do tempo.	49
Tabela 5 - Perguntas relacionadas às camadas.	50
Tabela 6 - Fases do processo de aplicação do technology roadmapping segundo Garcia & Bray (1997).....	55
Tabela 7 - Exemplos de inibidores químicos comerciais disponíveis no mercado.	64
Tabela 8 - Exemplos de revestimentos comerciais disponíveis no mercado.....	67
Tabela 9 - Detentores das tecnologias.	70
Tabela 10 - Detentores da tecnologia.	75
Tabela 11 - Empresas que foram levadas em consideração para a seleção dos documentos do roadmap.	96
Tabela 12 – Tabela contendo os documentos de patentes solicitadas e patentes concedidas utilizados no trabalho (continua).	119
Tabela 13 – Tabela contendo os documentos de artigos científicos utilizados no trabalho (continua).....	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DLC	<i>Diamond-like-carbon</i>
IS	Índice de saturação
pH	Potencial hidrogeniônico
SPE	<i>Society of Petroleum Engineers</i>
TRM	<i>Technology roadmapping</i>

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	10
	OBJETIVOS	12
1.	REVISÃO DA LITERATURA	13
1.1	Produção de petróleo e a problemática de incrustação	13
1.1.1	<u>Contextualização acerca do cenário de produção de petróleo e como o problema de incrustação interfere nos processos</u>	13
1.1.2	<u>Buscas preliminares em relação ao tema incrustação</u>	16
1.1.3	<u>Incrustação</u>	18
1.1.3.1	Locais onde ocorrem problemas de incrustação.....	23
1.1.3.2	Mecanismo geral de formação da incrustação.....	23
1.1.3.3	Incrustação de carbonato de cálcio	25
1.1.3.4	Métodos de remoção e prevenção	26
1.1.3.4.1	Métodos de remoção/correção.....	27
1.1.3.4.2	Métodos de prevenção	29
1.2	Prospecção tecnológica e método <i>Technology Roadmapping</i> (TRM)	35
1.2.1	<u>Ferramentas de pesquisa bibliográfica e de prospecção tecnológica</u>	35
1.2.2	<u>Panorama e evolução sobre o uso do <i>Roadmap</i></u>	39
1.2.3	<u><i>Technology Roadmapping</i></u>	42
1.2.3.1	Principais usos do método e algumas razões e benefícios da sua utilização.....	44
1.2.3.2	Estrutura e arquitetura do <i>Roadmap</i>	46
1.2.3.3	Tipos, propósitos, formatos e usos de <i>roadmaps</i>	51
1.2.3.4	Processo de aplicação	54
2	METODOLOGIA	56
2.1	Metodologia de aplicação do <i>Technology Roadmapping</i>	56
2.2	Metodologia do trabalho	58
2.2.1	<u>Etapas para a construção do trabalho de pesquisa e elaboração do <i>roadmap</i></u>	59
3	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	63
3.1	Estágio atual	63
3.2	Curto Prazo – Patentes concedidas	68
3.2.1	<u>Seleção dos documentos</u>	68
3.2.2	<u>Análise Macro</u>	69
3.2.3	<u>Análise Meso</u>	70

3.2.4	<u>Análise Micro</u>	71
3.3	Médio Prazo – Patentes solicitadas	73
3.3.1	<u>Seleção dos documentos</u>	73
3.3.2	<u>Análise Macro</u>	74
3.3.3	<u>Análise Meso</u>	75
3.3.4	<u>Análise Micro</u>	75
3.4	Longo Prazo – Artigos científicos	77
3.4.1	<u>Seleção dos documentos</u>	77
3.4.2	<u>Análise Macro</u>	78
3.4.3	<u>Análise Meso</u>	81
3.4.4	<u>Análise Micro</u>	83
4	ELABORAÇÃO E ANÁLISE DO ROADMAP	87
4.1	Elaboração do roadmap	87
4.2	Análise do roadmap	90
4.2.1	<u>Curto prazo</u>	90
4.2.2	<u>Médio prazo</u>	93
4.2.3	<u>Longo prazo</u>	96
4.3	Atualização da pesquisa	103
4.4	Complemento da pesquisa	103
5.	ANÁLISE SOBRE OS TRABALHOS RELATIVOS AO TEMA NO BRASIL	105
	CONCLUSÃO	108
	REFERÊNCIAS	111
	ANEXO A – Documentos de patentes solicitadas e concedidas consultados, mas não referenciados no trabalho.	119
	ANEXO B – Documentos de artigos científicos consultados, mas não referenciados no trabalho.	124

INTRODUÇÃO

A indústria de óleo e gás ainda detém uma parcela de grande importância na matriz energética mundial, apesar dos impactos ambientais que estão associados à sua exploração e ao seu uso como combustível. Dessa forma, grandes empresas petrolíferas vêm buscando novas formas de viabilizar a exploração de hidrocarbonetos.

A formação de incrustação nos processos de produção e exploração de petróleo vem representando um grande problema, já que interfere na garantia do escoamento dos fluidos em linhas e equipamentos de processo. Nesses sistemas, o acúmulo de sais inorgânicos de baixa solubilidade é a principal causa da incrustação mineral ou deposição em superfícies. Quando a formação de incrustação ocorre nos equipamentos dos processos de produção de petróleo pode causar sérios problemas operacionais, danos às tubulações e afetar também o escoamento (KAMAL et al., 2018; REIS et al., 2011). Dessa forma, esse é um problema relevante na indústria de óleo e gás, visto que pode acarretar em perdas de produção e aumento dos custos com manutenção e paradas. Atualmente, a utilização de inibidores de incrustação é uma forma de combate à incrustação bastante utilizada (FERNANDES et al., 2020). Além da utilização de inibidores de incrustação, existem na literatura estudos de outras formas de prevenção/remediação como, por exemplo, revestimentos de superfície, dispositivos ultrassônicos, magnéticos e eletromagnéticos (KAMAL et al., 2018).

Por conta da relevância do tema, este trabalho tem como finalidade, utilizar o método *Technology roadmapping* para avaliar a tendência no segmento de produtos utilizados para remediação da incrustação. O método *Technology roadmapping* (TRM) busca entender a tendência tecnológica de um determinado produto ou processo (BORSCHIVER; SILVA, 2016). É conhecido por ser um processo de planejamento que fornece aos tomadores de decisão meios de identificar, avaliar e selecionar opções estratégicas com a finalidade de atingir objetivos tecnológicos, diferindo de forma significativa de outras ferramentas de planejamento e análise (COELHO et al., 2005). Geralmente essa abordagem inclui dois aspectos principais, que são a aplicação (o processo de *roadmapping*) e o resultado da aplicação (um mapa, o *roadmap*), ou seja, o *roadmap* é o produto que se espera de um estudo de *Technology Roadmapping* (CARVALHO; FLEURY; LOPES, 2012).

Para elaboração do trabalho foram realizadas pesquisas preliminares e a partir delas foi escolhido o direcionamento do estudo. Foram selecionadas palavras chaves que foram

utilizadas nas buscas de documentos em base de dados de patentes e artigos. Depois da busca, a seleção dos documentos relevantes foi feita manualmente, a partir da verificação do foco para indústria de óleo e gás, além da aboradagem de alguma solução mitigatória para incrustação. Os documentos relevantes foram analisados e a partir deles foi feito um estudo de tendência e elaboração do *roadmap*.

OBJETIVOS

Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é abordar formas de minimização ou prevenção da incrustação inorgânica de carbonato de cálcio em sistemas de óleo e gás, através da metodologia do technology roadmapping.

Objetivos específicos

- Avaliação das tendências de mercado, produto e tecnologia no que diz respeito ao tema proposto.
- Avaliação da preocupação ambiental no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias.
- Análise das publicações referentes ao tema estudado no âmbito brasileiro.

Estrutura do trabalho

Para atingir os objetivos anteriores, o presente trabalho será dividido da seguinte forma: no primeiro capítulo serão apresentadas revisão bibliográfica sobre o tema incrustação e também sobre prospecção tecnológica e o método technology roadmapping. O capítulo 2 irá apresentar a metodologia que foi utilizada como base para a construção do roadmap neste trabalho; e também a metodologia utilizada para a construção de todo o trabalho de pesquisa, desde as pesquisas preliminares até a elaboração do roadmap. O capítulo 3 vai apresentar os principais resultados obtidos através das buscas e da análise dos documentos de patentes e artigos científicos. O capítulo 4 vai abordar a elaboração e análise do roadmap e o capítulo 5 vai apresentar o panorama brasileiro dentro das buscas realizadas para a elaboração do trabalho. Por fim, será apresentada uma conclusão abordando os principais resultados obtidos durante o estudo.

1. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será abordada uma revisão do principal assunto de estudo deste trabalho, apresentando uma breve contextualização sobre produção de petróleo e seu cenário, e porque o estudo de incrustação é importante na indústria de produção e exploração de petróleo. Além disso, serão apresentados conceitos e uma pesquisa bibliográfica, para criação de um embasamento teórico a respeito do problema de incrustação e de formas de minimizá-lo. Será realizado também um breve estudo sobre algumas ferramentas de pesquisa bibliográfica e sobre ferramentas de prospecção tecnológica, dando um enfoque maior no estudo sobre a metodologia de prospecção tecnológica *Technology Roadmapping*, que é a metodologia aplicada neste trabalho.

1.1 Produção de petróleo e a problemática de incrustação

1.1.1 Contextualização acerca do cenário de produção de petróleo e como o problema de incrustação interfere nos processos

No decorrer dos últimos anos observou-se uma intensificação na busca de novas fontes de energia com o intuito de suprir a crescente demanda, motivada principalmente pela industrialização de países em desenvolvimento. Nesse cenário, o óleo e gás ainda detém uma parcela de grande importância na matriz energética mundial, apesar dos impactos ambientais que estão associados à sua exploração e ao seu uso como combustível. Dessa forma, grandes empresas petrolíferas vêm buscando novas formas de viabilizar a exploração de hidrocarbonetos em novas fronteiras do globo.

No Brasil, segundo dados da Petrobras, a maior parte das reservas de petróleo está em campos marítimos, em águas profundas e ultraprofundas. As descobertas no pré-sal estão entre as mais importantes em todo o mundo nas últimas décadas. O pré-sal consiste na camada de petróleo existente abaixo de um enorme e espesso lençol de sal. A possibilidade de ocorrência do conjunto de rochas com potencial para gerar e acumular petróleo na camada

pré-sal encontra-se na chamada província pré-sal, uma área com aproximadamente 800 km de extensão por 200 km de largura, no litoral entre os estados de Santa Catarina e Espírito Santo. Essa província é composta por grandes acumulações de óleo leve, de excelente qualidade e com alto valor comercial. Uma realidade que nos coloca em uma posição estratégica frente à grande demanda de energia mundial. (PETROBRAS, 2020).

A produção diária de petróleo no pré-sal triplicou entre 2014 e 2018, passando de 500 mil barris por dia, em 2014, para o patamar de 1,5 milhão de barris por dia em 2018. Esse crescimento acelerado comprova a alta produtividade dos poços em operação no pré-sal e representa uma marca significativa na indústria do petróleo, especialmente porque os campos se situam em águas profundas e ultraprofundas (PETROBRAS, 2020).

Dessa forma, o fenômeno de incrustação, que se forma nas paredes e orifícios das tubulações e dos equipamentos durante a produção de petróleo, pode incidir em significativos custos de remediação em todos os setores do processo, principalmente nos campos de águas profundas e no novo cenário do pré-sal, devido aos longos percursos e a dificuldade de acessibilidade (BEZERRA; ROSARIO; ROCHA, 2003; BEZERRA; ROSÁRIO; ROSA, 2013).

Nesse contexto, a formação de incrustação nos processos de produção e exploração de petróleo (precipitação e deposição de compostos químicos) vem representando um grande problema, já que interfere na garantia do escoamento dos processos. A precipitação e deposição de compostos químicos em tubulações, telas de revestimento e demais equipamentos da cadeia produtiva provocam quedas na produção através do bloqueio de tubos e linhas de produção (KAMAL et al., 2018; YAN et al., 2017). Essa deposição e bloqueio das linhas pode ocasionar diminuição do tempo entre as pausas programadas para manutenção dos trechos ou equipamentos, gerando mais um ponto negativo, já que com maior tempo de parada, maior é a perda na produção. Outro problema, é que a ocorrência de incrustação pode ocultar o processo de corrosão nos equipamentos. Além disso, pode ocasionar perda de eficiência em trocadores de calor e caldeiras, já que provoca um isolamento térmico nas superfícies de troca de calor. Esse isolamento indesejado pode ocasionar falha de equipamentos em sistemas pressurizados devido ao superaquecimento das superfícies metálicas (ALABI et al., 2015).

Em campos de águas profundas, a injeção de água é o mecanismo de recuperação secundária mais usado, e tem por objetivo a manutenção da pressão do reservatório acima da pressão de bolha. Nesses campos de águas profundas, a injeção de água deve ser iniciada o

quanto antes, de forma a evitar a despressurização do reservatório, para otimizar a recuperação de petróleo. O baixo custo e a disponibilidade da água fazem com que ela seja o principal fluido usado na recuperação secundária de petróleo. A injeção de água possibilita uma recuperação adicional de 15 a 20 % do óleo presente no reservatório, ou seja, um aumento significativo na recuperação do petróleo (SCHLUTER, 2014). Nesses casos, o entendimento sobre o problema de deposição de sais inorgânicos a partir da água produzida é de grande importância para a manutenção dos equipamentos e redução dos custos com perdas de produção.

Em resumo, a formação de incrustação é responsável por diversos problemas, dentre eles: redução da produção de petróleo/gás natural; redução da capacidade de carreamento das tubulações afetadas; resistência à troca de calor; aumento de procedimentos de segurança; pontos de possíveis ataques corrosivos; aumento dos custos operacionais, dentre outros (BINMERDHAH; YASSIN; MUHEREI, 2010). Devido a esses diversos problemas, a prevenção ou minimização de incrustação é um assunto de grande interesse na área de produção e exploração de petróleo e gás.

Existem algumas alternativas para contornar o inconveniente da redução de fluxo nas tubulações causadas por incrustações inorgânicas. A metodologia mais utilizada no combate de incrustação são os tratamentos com inibidores químicos, tendo o objetivo de reduzir as taxas de precipitação dos sais em trechos de linhas e determinados equipamentos (KUMAR; VISHWANATHAM; KUNDU, 2010). Esta estratégia pode ser acompanhada de limpezas periódicas com ácidos, como por exemplo o ácido clorídrico, para dissolver esses depósitos residuais.

Vale mencionar que existe uma gama de métodos de prevenção inovadores, ou seja, alternativas que atuam na prevenção e inibem a formação da incrustação, como por exemplo os dispositivos físicos como os magnetos e geradores de ultrassons. Além disso, existem linhas de pesquisa dedicadas a explorar as interações superficiais, através de revestimentos especiais e a busca pela otimização no uso de inibidores quanto às dosagens aplicadas e formas de aumentar sua efetividade. É válido, portanto, buscar soluções que validem um método seguro e consistente que atue na prevenção do fenômeno de incrustação (MACADAM; PARSONS, 2004).

1.1.2 Buscas preliminares em relação ao tema incrustação

Para dar início ao tema em estudo foram realizadas buscas preliminares na base de dados Scopus, de forma a se obter uma prévia dos assuntos a serem abordados.

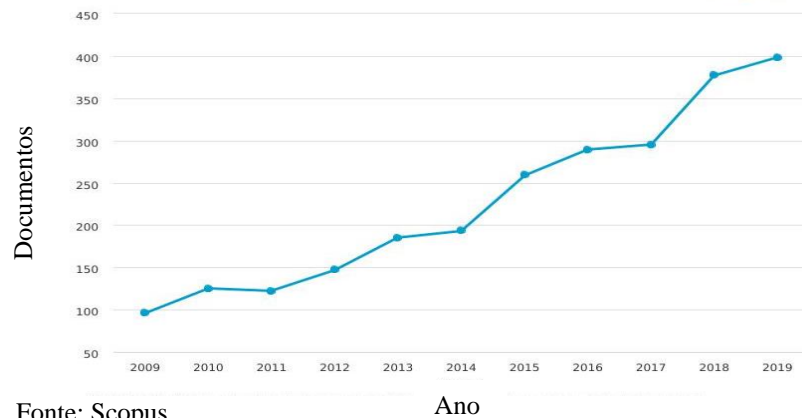
A base de dados Scopus é uma importante base de conhecimento, que possui dados de diversas publicações de todo o mundo e disponibiliza informações como autor, ano, país, revista, área de estudo e resumos das publicações. Existem diversas bases de dados científicos disponíveis, mas para análise desse trabalho foi escolhida a base Scopus. Essa base foi escolhida por ser um banco de dados importante de resumos e citações de artigos para jornais/revistas acadêmicos, oferecendo um panorama abrangente da produção de pesquisas do mundo. Cabe ressaltar que a base é especificamente acadêmica, logo o trabalho está direcionado para uma pesquisa acadêmica.

O tema abordado está relacionado à incrustação em sistemas de exploração e produção de petróleo, que como já citado anteriormente, pode ocasionar inúmeros problemas e perdas nos processos.

Com uma busca geral na base Scopus, realizada em todos os campos, para as palavras “scaling” e “oilfield”, em um período de 10 anos (2009-2019), utilizando os filtros de área de estudo de Engenharia, Engenharia química, Química, Energia e Ciência dos materiais, foram encontrados um total de 2.486 documentos. A

Figura 1, retirada da base de dados Scopus, apresenta a evolução temporal dos artigos relacionados a busca, podendo-se observar um aumento no número de publicações.

Figura 1 – Quantidade de documentos por ano.



Fonte: Scopus

Ano

De acordo com o que será visto mais adiante, pode-se ter incrustações de origem inorgânica, que são formadas por depósitos de sais de baixa solubilidade em água, ou seja, oriundas do efeito aquoso; e de origem orgânica, formadas por deposição de parafinas e asfaltenos, oriundas do efeito oleoso. Dessa forma, através da leitura básica de documentos no tema incrustação foram escolhidas algumas palavras que podem estar dentro do tema geral para serem usadas como forma de comparação. A partir delas foram feitas buscas na base Scopus verificando o número de artigos encontrados num período de 10 anos (2009-2019), utilizando filtros de área de estudo de Engenharia, Engenharia Química, Química, Energia e Ciência dos Materiais. Essa busca está representada na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo de buscas feitas na base Scopus para justificar a pesquisa.

Inorgânica		Orgânica	
Palavras	Quantidade	Palavra	Quantidade
<i>mineral scale</i>	943	<i>organic scale</i>	38
<i>inorganic scale</i>	388	<i>organic deposition/oilfield</i>	160
<i>inorganic scaling</i>	75	<i>organic scale /oilfield</i>	21
<i>inorganic scale/ oilfield</i>	282	<i>asphaltene/organic deposition/ oilfield</i>	170
<i>scaling/ calcium carbonate/oilfield</i>	615	<i>asphaltenes deposition/ oilfield</i>	51
<i>scaling/ barium sulfate/oilfield</i>	378	<i>paraffins deposition/ oilfield</i>	253
<i>scaling/strontium sulfate/oilfield</i>	147	<i>paraffins scale/ oilfield</i>	4
<i>scale/calcium carbonate/oilfield</i>	952	<i>paraffins/scaling/oilfield</i>	117
<i>scale/barium sulphate/oilfield</i>	527	<i>asphaltene/scaling/oilfield</i>	238

Fonte: O autor, 2020.

A partir dessa busca, observando os dados da tabela, verificou-se que existe uma grande quantidade de trabalhos ligados às incrustações do tipo inorgânica. Dessa forma, nos tópicos que se seguem serão abordados os assuntos relacionados a esse tipo de incrustação e algumas formas de minimização desse problema. Além disso, pode-se perceber que dentre os tipos de incrustação inorgânica, a deposição de carbonato de cálcio tem bastante relevância, sendo ela também um ponto de direcionamento da pesquisa.

1.1.3 Incrustação

A incrustação em campos petrolíferos, como já dito anteriormente, é um problema comum na indústria de óleo e gás. Esse tipo de problema pode custar milhões de dólares em danos e perda de produção, sendo uma das principais causas do declínio da produção. O fenômeno de incrustação pode ocorrer no interior de tubulações e equipamentos com a deposição e adesão de sólidos nas superfícies. Depois que a incrustação estiver se formado, a camada de incrustação vai continuar ficando mais espessa se não for tratada (MADY; FEVANG; KELLAND, 2019).

Nas indústrias de óleo e gás podem ser encontradas incrustações de origem inorgânica e de origem orgânica. As incrustações de origem inorgânica são formadas por depósitos de sais de baixa solubilidade em água, sendo oriundas do efeito aquoso (“*scale*”), enquanto as incrustações de origem orgânica podem ser formadas pela deposição de parafinas e asfaltenos, sendo oriundas do efeito oleoso (“*deposites*”). Além disso, existem também as incrustações mistas, que são uma mistura, podendo existir na interface água/óleo, como exemplo tem-se os naftenatos. Ambos os tipos quando precipitam tendem a se aglomerar em vários pontos do sistema de produção, provocando perda parcial ou total da capacidade de escoamento, o que acarreta prejuízos devido a interrupção da produção para manutenções e paradas não programadas (AL-TAQ et al., 2015).

A formação de incrustação tem sido um obstáculo enfrentado por diversas áreas da indústria, dentre elas: óleo e gás, farmacêutica, mineração, química e tratamento de água. O fenômeno se torna ainda mais severo em situações nas quais sais formadores de depósitos se

encontram supersaturados e com condições favoráveis para precipitação, como diminuição da pressão, aumento da temperatura, alteração no pH, etc. E tais condições são encontradas principalmente pelas indústrias petrolíferas que tem tido sérios problemas com incrustação (MACADAM; PARSONS, 2004).

A Figura 2 apresenta exemplos de incrustações que se formam em tubulações, reduzindo seu diâmetro e dificultando o escoamento.

Figura 2 - Exemplos de ocorrência de incrustações.



Fonte: SANTOS, 2007.

De acordo com Bezerra *et. al* (2013), no caso do Brasil, as principais reservas exploradas se encontram nas regiões conhecidas como pós e pré-sal, que são em sua grande maioria reservatórios que possuem composição de rochas carbonáticas situadas sob grande profundidade no leito do mar. Assim, a incrustação predominante nesse sistema tem por característica depósitos de carbonato de cálcio, sulfato de bário e sulfato de estrôncio e algumas outras espécies em menor proporção.

O carbonato de cálcio é um mineral muito abundante na crosta terrestre; corresponde a cerca de 4% da crosta terrestre e representa o composto inorgânico mais importante do ciclo de carbono, através do processo de carbonatação natural. Dessa forma, devido a sua grande abundância nas regiões de exploração de petróleo, o carbonato de cálcio é um dos grandes causadores de depósitos inorgânicos em sistemas de exploração e produção de petróleo, afetando sistemas de aquecimento de água, torres de resfriamento, plantas de dessalinização, escoamento, entre outros (ANDERSON, 2005).

A incrustação mineral ou inorgânica é causada através do acúmulo numa superfície de sais inorgânicos de baixa solubilidade em água (REIS *et al.*, 2011). A incrustação inorgânica

pode ser definida como compostos químicos de natureza inorgânica que crescem como resultado de deposição indesejada de material e reações químicas em partes metálicas de equipamentos utilizados em campos de petróleo, podendo comprometer ou interromper o escoamento do óleo (CAVALCANTI et al., 2013). Dessa forma, as incrustações são os depósitos que se formam no interior das tubulações por fixação de substâncias em suspensão e da precipitação de sólidos dissolvidos que se transformam em sólidos insolúveis devido as condições de campo (SANTANA; MANZELA, 2016).

Geralmente, em campos de petróleo as incrustações podem ser agrupadas em três categorias: incrustações de carbonato (CaCO_3 , MgCO_3 , BaCO_3), incrustações de sulfato (CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4) e incrustações de silicato (QIAN et al., 2020). Contudo, as incrustações mais predominantes são o sulfato de bário e o carbonato de cálcio (CAVALCANTI et al., 2013).

As incrustações de carbonato (CaCO_3 e FeCO_3) ocorrem onde há uma mudança na temperatura e pressão que resultam em uma liberação de dióxido de carbono da forma aquosa para a forma gasosa, além da incompatibilidade de águas. As incrustações de sulfato (BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 e $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) surgem quando há a mistura de águas incompatíveis (VAZIRIAN et al., 2016).

A Tabela 2 mostra as incrustações mais comuns em campos petrolíferos (MOGHADASI et al., 2003).

Tabela 2 - Tipos mais comuns de incrustação em campos petrolíferos.

Nome	Fórmula Química	Variáveis primárias
Carbonato de Cálcio	CaCO ₃	Pressão parcial de CO ₂ , Temperatura, Total de sais dissolvidos, pH
Sulfato de Cálcio: Gipsita Hemihidrato Anidrato	CaSO ₄ .2H ₂ O CaSO ₄ .1/2H ₂ O CaSO ₄	Temperatura, total de sais dissolvidos, pressão
Sulfato de Bário	BaSO ₄	Temperatura e pressão
Sulfato de Estrôncio	SrSO ₄	Total de sais dissolvidos
Compostos de Ferro: Carbonato de Ferro Sulfato de Ferro Hidróxido de Ferro	FeCO ₃ FeS Fe(OH) ₂ e Fe(OH) ₃	Corrosão, gases dissolvidos, pH

Fonte: Adaptado de MOGHADASI et al., 2003.

A formação de incrustação pode ocorrer devido a alguns fatores como: reação química proveniente da mistura de águas quimicamente incompatíveis; variações termodinâmicas como temperatura, pressão, concentração, pH, entre outras; evaporação da água, reações químicas microbiológicas e quando há separação de gás dissolvido (KAMAL et al., 2018).

As principais ocorrências de incrustação estão relacionadas com a incompatibilidade química de águas (entre água de formação, que está naturalmente presente nas rochas; e água de injeção, normalmente água do mar, usada para recuperação secundária de petróleo). A água de formação normalmente encontra-se em equilíbrio químico com a rocha e possui relativa dureza, com uma concentração de íons Ca²⁺ e Mg²⁺, além de outros como (HCO₃)⁻; apresenta concentrações consideráveis de metais alcalinos e alcalinos terrosos, tais como bário, estrôncio e cálcio, além de possuir elevada salinidade (REIS et al., 2011). A água de injeção, geralmente água do mar, possui ânions como (SO₄)²⁻ e outras concentrações de íons. Quando essas duas águas entram em contato e se misturam pode haver incompatibilidade e dessa forma ocorrer a precipitação de sais insolúveis (BINMERDHAH; YASSIN; MUHEREI, 2010; KHORMALI; SHARIFOV; TORBA, 2018; VAZIRIAN et al., 2016).

Além dessa incompatibilidade entre águas, existem outras formas de formação da incrustação, como mudanças nas condições operacionais dos processos, que podem influenciar as condições de equilíbrio das salmouras. Dessa forma, é de grande importância o conhecimento da concentração de sais dissociados na fase aquosa, supersaturação, pH, temperatura, pressão, permitindo assim um melhor monitoramento dos fenômenos de formação de incrustação (COSTA et al., 2019). Sendo assim, alguns fatores como índice de saturação, massa de precipitado formado, força motriz, temperatura e pressão, devem ser considerados nos estudos de formação de incrustação.

Além disso, outra possível causa ocorre quando uma fração de gás dissolvido (CO_2 , por exemplo) se separa do fluido na pressão de bolha (pressão onde a primeira bolha de vapor começa a ser formada), durante o fluxo ascendente dos fluidos desde o reservatório. Com isso, o sistema se desloca para um novo ponto de equilíbrio (mudança de pH) diante da precipitação de sais supersaturados na fase aquosa (KAMAL et al., 2018).

O produto de solubilidade de interação ânion/cátion é de grande importância no processo de formação da incrustação inorgânica. Compostos como carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, sulfato de bário, carbonato de bário possuem baixa solubilidade em sistemas aquosos. Embora o bário não seja tão abundante como o cálcio e o ferro, o mesmo na forma de sulfato ou carbonato é pouco solúvel e frequentemente resulta em deposição (SANTANA; MANZELA, 2016).

Levando-se em consideração fatores cinéticos, a força motriz do crescimento do cristal em uma solução e as mudanças de temperatura e pressão devem ser consideradas, já que esses fatores podem levar a formação de diferentes formas cristalinas para um único composto. A precipitação tem associação com a condição de supersaturação, no caso de índice de saturação (IS) >1 , quando a solução não está na sua condição de equilíbrio. O índice de saturação (IS) é a medida da relação entre a quantidade de sal dissolvida na água e a concentração máxima de equilíbrio, e reflete o grau de supersaturação. Em determinadas condições, como de baixa saturação, a precipitação poderá ocorrer quando induzida por sementes nucleadoras (ROCHA, 2002).

1.1.3.1 Locais onde ocorrem problemas de incrustação

Com relação a indústria de óleo e gás, os problemas de incrustação podem ser encontrados em qualquer estágio da produção, em qualquer lugar em que a água é produzida com o petróleo e o gás natural, principalmente causado pelas mudanças que ocorrem quando o fluido entra no poço, depois atravessa toda a tubulação e equipamentos de processamento (MARTINS, A. L. et al, 2020). Dessa forma, os depósitos de incrustação podem ocorrer nos reservatórios, poços de injeção, poços produtores, instalações de produção de superfície, tubulações e poços de descarte (BADER, 2007; THOMAS, 2001).

De acordo com outros autores, assim como já citado, a incrustação também pode ocorrer na formação, no canhoneado (local perfurado com cargas explosivas para estabelecer a comunicação com o poço em poços não abertos), nos equipamentos de fundo do poço e nos tubos de completação (interface entre o reservatório e a superfície), em telas de *gravel packing* (telas de controle de areia), na tubulação de produção, em equipamentos de superfície (vasos separadores, bombas, tanques, trocadores de calor, entre outros) e nos sistemas de reinjeção de água (HAMID et al., 2013; MARQUES et al., 2001).

1.1.3.2 Mecanismo geral de formação da incrustação

A formação do filme de incrustação ocorre em múltiplas etapas, sendo a adsorção do agente incrustante sobre a superfície a principal etapa.

De acordo com Kostoglou e Karabelas (1998), o fenômeno de incrustação pode seguir os seguintes mecanismos: condições termodinâmicas, como supersaturação, temperatura e pressão; nucleação; agregação e crescimento e adesão.

Segundo Ribeiro (2013), para que ocorra formação de precipitados, e assim da incrustação, são necessários a ocorrência de três fatores simultâneos: supersaturação, nucleação e tempo de contato. Além disso, para que haja formação dos precipitados e assim ocorrência das incrustações, é necessário que ocorra o crescimento dos cristais.

A supersaturação é considerada a causa primária da formação de incrustação. As variações de temperatura, pressão e pH são consideradas causas secundárias, visto que influenciam a solubilidade dos compostos. A supersaturação seria a primeira etapa para a

formação de incrustação, seguida pela nucleação. É na etapa de supersaturação que ocorre a pré-concentração dos íons dissolvidos em solução (SANTANA; MANZELA, 2016).

A etapa de nucleação é o início de um processo de precipitação. Na etapa de nucleação ocorre a interação entre íons e moléculas, que levam à formação de agregados de tamanho crítico, que são definidos como núcleo. A nucleação pode ocorrer de forma homogênea ou heterogênea.

A nucleação homogênea consiste na nucleação no volume da amostra, no seio da solução, porém é menos provável de ocorrer, pois há necessidade de criação da superfície dos núcleos homogêneos. Para que isso aconteça, deve ocorrer um aumento de energia livre interfacial disponível no sistema reacional, o que exige que tanto as condições de supersaturação quanto o tempo de indução atuem como força motriz para sua ocorrência (KOSTOGLU; KARABELAS, 1998).

A nucleação heterogênea é quando a precipitação é induzida através da presença de sementes nucleadoras, ou seja, quando há presença de substâncias estranhas como partículas em suspensão, microrganismos e demais interfaces como as bolhas de gás. Esse tipo de nucleação dispensa a barreira potencial de energia da etapa de surgimento dos núcleos, ou seja, ela precisa de sítios pré-existentes para ocorrer (KUMAR; NAIYA; KUMAR, 2018). Na presença dessas sementes, a nucleação ocorre com um índice de saturação inferior ao requerido para nucleação na solução, por isso é a forma de nucleação mais comumente observada (GRAHAM; BOAK; HOB DEN, 2001).

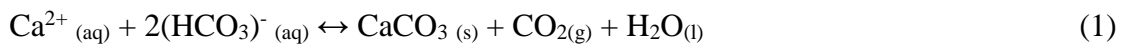
A fase do crescimento dos cristais ocorre a partir das sementes nucleadoras que são formadas no processo de nucleação, atingindo um raio crítico, a partir do qual o crescimento se torna espontâneo. Nessa etapa predomina a formação de um número menor de cristais, porém maiores, sendo a etapa limitante em termos de energia. Após esse processo, a solução alcança o equilíbrio, os cristais são bem formados e ocorre separação das fases (TOMSON et al., 2002).

Em águas produzidas nos poços de petróleo, a formação dos cristais decorre principalmente da nucleação heterogênea, em que ocorre adsorção de íons e moléculas na superfície dos núcleos de impurezas presentes na água, que atuam de forma a acelerar o processo de nucleação (SANTOS, 2007).

1.1.3.3 Incrustação de carbonato de cálcio

A incrustação de carbonato de cálcio é um tipo de incrustação bastante presente nos campos petrolíferos (AL NASSER; HENG, 2015). A formação de carbonato de cálcio é complexa, pode ter dependência da composição da água, temperatura, pressão e também da presença e quantidade de dióxido de carbono (CO_2) (EYAA ALLOGO; RAVITZ; NGUYEN, 2015).

A precipitação de carbonato de cálcio é controlada pelo equilíbrio da equação 1:

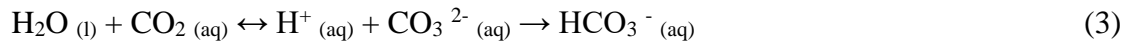


A solubilidade do carbonato de cálcio está relacionada às suas reações de formação e decomposição, sendo o ânion carbonato uma complexidade da molécula. Isso ocorre porque o ânion carbonato participa de equilíbrios químicos com elementos que estão em fase sólida (carbonato de cálcio insolúvel) e também com elementos que estão na fase gasosa, como o dióxido de carbono (CO_2). A solubilidade do CaCO_3 diminui com o aumento da temperatura, ocorrendo frequentemente em altas temperaturas (ALJEBAN et al., 2020). À medida que a temperatura aumenta, a formação de CaCO_3 é acelerada e a precipitação pode ocorrer em um estágio anterior (WANG et al., 2018).

A queda de pressão decorrente do processo de produção de petróleo faz com que haja desprendimento de gases, levando à perda de CO_2 à medida que a fase gasosa se forma a partir da solução aquosa. Essa liberação contínua de $\text{CO}_{2(\text{g})}$ perturba o equilíbrio do sistema, deslocando o equilíbrio da Equação 1 para a direita, facilitando o aumento da precipitação de CaCO_3 (ALJEBAN et al., 2020).

A equação 3 mostra que o ânion carbonato pode ser afetado pela concentração de H^+ , tendo seu equilíbrio dependente da faixa de pH do sistema. A solubilidade do CaCO_3 diminui quando o pH aumenta, logo CaCO_3 terá precipitação mais rápida sob pH mais alto (WANG et al., 2018). Nos casos de despressurização, citado acima, a despressurização diminui a solubilidade do CO_2 em água, que está na forma de ácido carbônico e bicarbonato. Essa perda de gás da fase aquosa faz com que o pH aumente, facilitando também a precipitação (KARTNALLER et al., 2018).

As reações 2 e 4 vão ocorrer quando o componente alcança o seu limite de saturação na fase aquosa, havendo o surgimento de uma nova fase mais estável, sendo a fase sólida para o carbonato de cálcio e a fase gasosa para o dióxido de carbono.



Durante a precipitação da solução, o carbonato de cálcio pode existir principalmente em três formas, conhecidas como polimorfos, que são calcita (morfologia romboédrica), vaterita (morfologia esférica) e aragonita (morfologia em forma de agulha). A precipitação em qualquer uma das formas é possível dependendo da concentração de Ca^{2+} , presença de íons divalentes como magnésio, temperatura e pH, mas a calcita é termodinamicamente a forma mais estável e todas as outras formas podem ser eventualmente transformadas nesta forma nas condições empregadas (AL NASSER; HENG, 2015).

1.1.3.4 Métodos de remoção e prevenção

Os métodos de prevenção e remediação de incrustações são de grande importância para os campos de exploração e produção de petróleo, visto que a influência da incrustação na garantia do escoamento é um desafio a ser vencido. Além da eficácia de prevenir/tratar a incrustação, a escolha do método que será utilizado deve passar por análises econômicas, ambientais, relações custo – benefício, entre outras (SANTANA; MANZELA, 2016).

Existem várias tecnologias que podem ser empregadas no campo para resolver ou diminuir o problema de incrustação, tanto tecnologias corretivas quanto preventivas. Os métodos de remoção/correção são usados nos casos em que a incrustação já está aderida nas paredes e superfícies das tubulações e dos equipamentos. Já os métodos de prevenção atuam com o objetivo de retardar, antecipar ou inibir a formação da incrustação (MADY; MALMIN; KELLAND, 2019).

O processo de ação corretiva, com remoção da incrustação é caro e muitas vezes requer desligamento do processo, podendo danificar os equipamentos e tubulações. Ações como limpeza mecânica, troca da linha de produção e dissolução do precipitado são opções bem dispendiosas. Dessa forma, estratégias diferentes passaram a ser adotadas para diminuir os custos operacionais de remoção da incrustação, assim como reduzir o tempo de não produção (AL HELAL et al., 2019). A utilização de inibidores químicos de incrustação inorgânica ou anti-incrustantes é um modo mais econômico e prático de se prevenir ou minimizar as incrustações inorgânicas (REIS et al., 2011). Assim, o estudo de maneiras de minimizar e prevenir a incrustação tem sido de grande importância, existindo estudos na área de novos inibidores químicos, revestimentos de superfície e dispositivos físicos.

A Tabela 3 mostra exemplos de tratamentos que podem ser utilizados com o objetivo de mitigar depósitos de carbonato de cálcio (MACADAM; PARSONS, 2004).

Tabela 3 - Exemplos de métodos de prevenção e controle de incrustação inorgânica.

Tratamento	Mecanismo	Eficácia relatada (%)
Troca iônica	Remove espécies de cálcio formadoras de incrustação	Até 100%
Dosagem de ácido	Muda a solubilidade do carbonato de cálcio	Até 100%
Inibidores químicos	Bloqueia os sítios de crescimento, parando a formação do cristal	Até 100%, mas depende do tipo de inibidor, qualidade da água e dosagem.
Íons metálicos	Bloqueia os sítios de crescimento ou reage com carbonato	Até 80%
Dispositivos Magnéticos	Não há concordância	Até 80%
Dispositivos Eletrônicos	Formação preferencial de partículas na fase líquida	Até 40%
Ultrassom	Mudança local do pH que induz precipitação	Até 65%
Superficial	Produz superfície de menor incrustação	Até 90%

Fonte: adaptado de MACADAM; PARSONS, 2004.

1.1.3.4.1 Métodos de remoção/correção

Os métodos de remoção e correção, como citado anteriormente, são utilizados quando o problema já ocorreu e existem depósitos de sais nas superfícies das tubulações e equipamentos. Ou seja, quando a incrustação já está em estágio avançado, causando problemas nos processos de produção. Dentre os métodos de correção, existem os métodos mecânicos e os métodos químicos.

Remoção Mecânica

A remoção mecânica é realizada através de ferramentas e técnicas mecânicas aplicáveis na coluna de produção que levam em consideração a eficácia de remoção e a capacidade de avançar no tubo, juntamente com a preservação da integridade do duto. Grande parte das técnicas mecânicas possui um intervalo limitado de aplicabilidade, dessa forma, o método correto a ser utilizado vai depender do poço e do depósito incrustado (GUIMARAES et al., 2007).

A raspagem, perfuração de rochas e trituração com brocas de aço são exemplos de técnicas utilizadas quando a camada de incrustação já está espessa. Brocas de impacto e tecnologia de trituração foram desenvolvidas para serem usadas em flexitubos dentro da configuração da coluna (SANTANA; MANZELA, 2016).

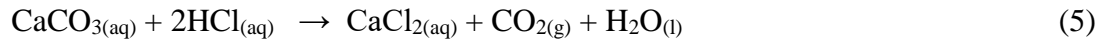
Esse tipo de método de remoção possui alto custo de operação e manutenção quando comparado às técnicas químicas, que serão apresentadas mais adiante, porém são necessários nos casos em que outras técnicas menos custosas não removeriam os depósitos completamente. Com isso, é também comum a utilização de métodos mecânicos em conjunto com métodos químicos para aumento na eficiência de remoção da incrustação.

Remoção Química

A remoção química é recomendada em casos nos quais os depósitos se encontram em lugares inacessíveis, com espessura moderada ou onde não há efetividade no uso de remoção mecânica (SANTANA; MANZELA, 2016).

O método de remoção química é realizado através da adição de ácidos fortes ou substâncias químicas que desestabilizem a incrustação e a torne solúvel. Geralmente, a acidificação é realizada com a adição de ácido clorídrico concentrado (HCl) para favorecer a

dissolução da incrustação (KAMAL et al., 2018). A Equação 5 mostra como ocorre a dissolução da incrustação de CaCO_3 .



Através da adição de ácido, a incrustação pode ser minimizada devido a redução do pH. A adição das substâncias químicas para remoção da incrustação deve ser avaliada conforme o tipo de sal depositado. Como exemplo, o equilíbrio do carbonato de cálcio pode ser alterado para o estado dissolvido por meio da acidificação, porém isso não é possível na prevenção de incrustações formadas a partir de íons cuja variação de pH não tem impacto na solubilidade, como sulfato de cálcio e sulfato de bário (LEE et al., 2020).

Grande parte das técnicas de remoção química são controladas segundo sua acessibilidade, já que são necessárias linhas próprias dedicadas a injeção das substâncias (SANTANA; MANZELA, 2016).

Em alguns casos, o método de acidificação pode trazer desvantagens, pois a reação do ácido pode levar a formação de substâncias precursoras/iniciadoras do processo de reformação dos depósitos incrustantes, como cloreto de cálcio e cloreto de bário. Outra forma de resolver esse problema é utilizar um dispersante que além de dissolver a incrustação, tenha ação quelante para prender íons indesejados na solução. Existem alguns dispersantes a base de EDTA, e esse efeito é bastante utilizado em incrustações de sulfato de bário (EYAA ALLOGO; RAVITZ; NGUYEN, 2015).

Geralmente, os sais que resultam do processo de acidificação vão ser solubilizados novamente e os demais fragmentos de incrustação vão ser arrastados através do escoamento, salvo quando acontecer esse efeito de formação das substâncias iniciadoras.

1.1.3.4.2 Métodos de prevenção

Os métodos de prevenção surgem como alternativas com o objetivo de tentar minimizar a formação desses depósitos nas superfícies das tubulações e equipamentos. Esses métodos são uma metodologia mais eficiente e de menor custo se comparados com os métodos de remoção. Isso ocorre pois com os métodos de remoção são necessários tempos de

parada para manutenção das linhas. Já com a utilização dos métodos de prevenção, esses tempos de parada são menores pois a quantidade de incrustação formada no mesmo tempo também é menor.

Os métodos de prevenção podem atuar retardando, antecipando ou inibindo a formação da incrustação, atuando nas etapas de nucleação, crescimento ou adesão dos cristais. Em geral existem alguns métodos que são utilizados ou estudados atualmente, como: o uso de inibidores químicos, revestimentos de superfícies, dispositivos magnéticos, eletromagnéticos e ultrassônicos (MARQUES, 2015).

Em grande parte dos casos, a prevenção por meio dos inibidores químicos é o método preferido na manutenção da produtividade. Existem também técnicas de diluição que são usadas como métodos de inibição, onde há redução da saturação do poço por estar sempre enviando água a todo sistema de produção, sendo um método simples utilizado na coluna de produção (SANTANA; MANZELA, 2016).

Abaixo serão apresentados alguns exemplos de métodos utilizados e estudados para a prevenção da incrustação.

Inibidores Químicos

Devido aos grandes problemas causados pela incrustação, as indústrias vêm desenvolvendo substâncias que podem atuar evitando ou inibindo a incrustação inorgânica. Um dos métodos mais usados para tentar evitar a incrustação na indústria de óleo e gás é a utilização de inibidores químicos (MADY; FEVANG; KELLAND, 2019). Essas substâncias são os inibidores de incrustação (*mineral scale inhibitors*) e eles atuam em concentrações na ordem de dezenas de mg/L (SANTANA; MANZELA, 2016).

Os inibidores químicos podem atuar retardando ou inibindo a formação dos cristais de sais, sendo considerados métodos efetivos no controle da incrustação (LIU et al., 2017). Os inibidores químicos podem atuar no processo de formação da incrustação de duas formas distintas. Uma dessas formas é complexar os cátions e deslocar o equilíbrio, e dessa forma, afeta a fase de nucleação, reduzindo a quantidade de íons disponíveis que formarão a incrustação. A outra forma como os inibidores podem atuar é interagindo com os núcleos já formados, de forma a aumentar sua energia, modificando a velocidade das etapas de reação de formação dos depósitos e assim afetam o crescimento dos cristais (BINMERDHAH; YASSIN; MUHEREI, 2010; TANTAYAKOM et al., 2005).

Para inibidores atuarem em campo no processo de minimização da incrustação eles precisam ter determinadas características como: eficiência e estabilidade térmica, faixa razoável de efetividade em função do pH e compatibilidade com o íon cálcio. A estabilidade térmica é um fator de grande importância, pois dependendo do lugar onde será aplicado, as condições de atuação dos inibidores podem ser bem diferentes, como quando é aplicado no reservatório e deve resistir a temperaturas elevadas sem sofrer alteração na estrutura (REIS et al., 2011).

Dessa forma, várias substâncias químicas vêm sendo sintetizadas e testadas como inibidores de incrustação, sendo relevante o desenvolvimento de pesquisa nesta área com o objetivo de se obter novos inibidores mais atraentes economicamente. Nesse âmbito, o maior desafio vem sendo avaliar as atividades dos inibidores de incrustação em condições próximas as que são utilizadas em campo (KOHLENER; COURBIN; ROPITAL, 2001).

O tratamento com inibidores pode ser considerado dispendioso, porém se levar em conta todos os custos e perdas causados pela formação da incrustação, conclui-se que o uso dos inibidores pode ser significativamente mais econômico (SANTANA; MANZELA, 2016).

O tratamento com inibidor possui algumas formas de aplicação, podendo ser aplicado de forma contínua ou controlada. No sistema de aplicação contínua, o inibidor é bombeado continuamente em algum ponto da linha, de acordo com a localização mais provável de formação de incrustação, onde ele vai se misturar ao fluido produzido. No método de aplicação controlado, tratamento de squeeze de inibidor, o inibidor é aplicado no poço produtor, injetado na rocha reservatório, onde ele é absorvido ou precipitado em sua superfície. A grande vantagem deste método é que o inibidor é colocado dentro do reservatório, e a prevenção começa já de dentro da formação (MADY; MALMIN; KELLAND, 2019).

Todas essas técnicas possuem como desvantagem o fato de precisar de equipamentos extras, ou seja, custo de capital e operação, quando comparadas com o tratamento por bateladas. Os sistemas de injeção de inibidores são geralmente acompanhados de sensores e monitoramento digital (REBESCHINI, 2010).

Em alguns casos o poço é tratado primeiro para que seja feita remoção de incrustação existente através de acidificação. Após esse tratamento ocorre um *preflush* (pré-tratamento) químico e um desemulsificante é injetado. Depois há injeção da solução de inibidor seguida de um *overflush* (pós-tratamento), geralmente com água de formação, para empurrar o inibidor a alguns metros dentro da formação. Depois desse processo, o poço fica fechado por

algumas horas para que o inibidor possa ser retido pela formação através de adsorção nas superfícies das rochas, e em seguida a produção é reiniciada (SANTANA; MANZELA, 2016).

De forma geral, para que um composto seja um bom inibidor de incrustação por quelação com cátions metálicos é necessário que sejam hidrofílicos, ou seja, que se dissolvam na água. Um inibidor de incrustação deve conter grupos como ácidos carboxílicos, sulfônicos ou fosfônicos e grupos que tenham pares de elétrons livres para que possam complexar com cátions. Esse balanço entre os grupos facilita o sequestro dos cátions, diminuindo sua concentração e por consequência acaba impedindo a deposição.

Existem alguns tipos de inibidores que são comumente utilizados na indústria de óleo e gás, dentre eles estão os fosfonatos, poliacrilatos, fosfatos e polifosfatos, ésteres de fosfato, carboxilatos, sulfonatos e outros polímeros e copolímeros de fosfonatos (AL HELAL et al., 2019).

De acordo com Montalvão (2018), a eficiência é um dos primeiros fatores que são avaliados quando a utilização de um inibidor é proposta e este parâmetro pode ser avaliado através de ensaios laboratoriais do tipo estático e dinâmico. Geralmente os ensaios estáticos servem como testes preliminares para aprovação de inibidores comerciais, já os dinâmicos servem para definir a concentração ótima de dosagem.

A utilização de inibidores de incrustação pode afetar a química da solução e representar risco ao meio ambiente (AL HELAL et al., 2019). Dessa forma vem se percebendo uma série de estudos relacionados ao desenvolvimento de uma nova geração de inibidores químicos, os inibidores químicos verdes. Inibidores de incrustação contendo nitrogênio e fósforo são altamente eficientes, porém seu uso é limitado já que esses compostos podem ser prejudiciais ao meio ambiente, pois compostos com fósforo podem causar eutrofização nos corpos d'água, criando um sério problema ambiental (LIU et al., 2017; PERVOV et al., 2016). Como exemplo de inibidores verdes promissores, pode-se citar os polímeros biodegradáveis com base em ácido poliaspártico e o ácido poliepoissuccínico (PERVOV; ANDRIANOV; DANILYCHEVA, 2018). Alguns inibidores como aditivos de ácido policarboxílico, tais como poli (ácido acrílico), ácido polimaleico e ácido poliepoissuccínico, apesar de serem ambientalmente amigáveis, têm baixa tolerância ao cálcio, podendo formar sais de polímero de cálcio insolúveis. Dessa forma, deve-se desenvolver inibidores de incrustação verdes e também eficientes (GUO et al., 2020).

Revestimentos

Além dos diversos fatores que afetam a formação da incrustação, o processo de formação também é afetado pela natureza física do material no qual a incrustação está sendo formada e pelas condições hidrodinâmicas. A escolha do material para redução da formação de incrustação é um balanço entre material da superfície e acabamento. O material da superfície influencia a taxa de formação da incrustação e está frequentemente relacionada com a energia livre da superfície do material. De acordo com Macadam e Parsons (2004), quanto menor for a energia da superfície, menor é a força de adesão entre os cristais e as superfícies.

Por causa desse fator relacionado ao tipo de material, existem estudos de alguns produtos e também produtos comerciais para atuarem nesse campo. Existem alguns agentes químicos que podem alterar a interação que ocorre entre os cristais de incrustação e a superfície, e dessa forma, eles são comercializados como revestimentos de superfície, podendo reduzir a formação de incrustação.

Dessa forma, muitos trabalhos vêm procurando relacionar as propriedades anti-incrustantes dos revestimentos com características superficiais dos materiais, como rugosidade e energia superficial (MACADAM; PARSONS, 2004).

Existe ainda uma divergência quanto ao uso da técnica de revestimento. Existem trabalhos que indicam que o uso de alguns revestimentos pode acarretar em reduções das massas depositadas. Existem trabalhos que estudam efeito da rugosidade e acreditam que um aumento na rugosidade leva a um aumento de massa depositada, entretanto existem outros artigos que não acreditam em uma correlação de rugosidade e massa depositada. Existem ainda artigos que apresentam que há uma redução na massa depositada de alguns sais com a redução da energia de superfície (RODRIGUES, 2016).

A utilização de materiais de carbono amorfo tipo diamante (*Diamond-like carbon* – DLC), teflon, entre outros, vem sendo comercializada e estudada como revestimentos anti-incrustantes.

Esses tratamentos de superfície e revestimentos também podem ser usados em conjunto com outros métodos de remoção e prevenção com o intuito de melhorar a eficiência dos processos (CHARPENTIER, T. V. J. et al, 2014; CHEONG, W. C., 2013).

Dispositivos físicos

Existem dispositivos físicos que vem sendo estudados com o objetivo de minimizar a deposição de sais nas paredes dos equipamentos e tubulações. Como exemplos de dispositivos físicos pode-se citar: dispositivos magnéticos, dispositivos eletromagnéticos e dispositivos ultrassônicos.

As vantagens no uso desses tipos de dispositivos estão no fato de envolverem tratamento físico, não envolvendo o uso de agentes químicos, o que pode tornar seu custo benefício melhor, além de não ter o descarte de produtos químicos e não produzir alterações na água produzida (ALABI et al., 2015).

Alguns estudos acreditam que o uso de dispositivos magnéticos pode tornar mais favoráveis a nucleação e crescimento dos cristais no seio da solução, então esses cristais são levados pelo escoamento e evita-se a deposição nas paredes.

O tratamento eletromagnético é um método útil na minimização da incrustação, porém seu efeito de aplicação é instável. Os dispositivos funcionam de forma a fornecer energia equivalente para que ocorra nucleação homogênea no leito da solução, em detrimento da nucleação heterogênea, e assim os cristais formados podem ser arrastados pelo escoamento e não aderem nas paredes. Dessa forma, existem estudos que concluíram que a tecnologia pode reduzir o tempo de nucleação ou aumentar o crescimento da taxa de nucleação de CaCO_3 . Porém, existem outros estudos que chegaram a uma conclusão oposta, onde o campo eletromagnético poderia reduzir a combinação de íons Ca^{2+} e HCO_3^- (HAN et al., 2018).

Em presença de campo magnético, as taxas de crescimento de carbonato de cálcio podem ser menores do que na ausência do campo. Da mesma forma, a intensidade magnética também vai influenciar na taxa de crescimento, onde maiores intensidades magnéticas vão produzir menores taxas de crescimento de carbonato de cálcio. De maneira geral, a quantidade de precipitado tem dependência do pH da solução, da vazão e também da duração do tratamento. Estudos sugerem que os campos magnéticos podem influenciar o equilíbrio da fase polimórfica do carbonato de cálcio influenciando a interface $\text{CO}_2/\text{água}$ ou hidratando os íons carbonato antes da formação dos núcleos cristalinos estáveis que se formam na solução (SIMONIČ; URBANCL, 2017).

Os dispositivos ultrassônicos, assim como os outros, são uma linha de pesquisa recente. Eles atuam acelerando o processo de precipitação, através da irradiação por ultrassom, favorecendo a formação dos cristais no leito da solução, diminuindo a quantidade

de deposição nas paredes. Existem trabalhos que apresentam resultados como redução no tamanho das partículas, alteração de formato e características dos cristais através do uso de ultrassom (DALAS, 2001; KOJIMA; YAMAGUCHI; NISHIMIYA, 2010; NISHIDA, 2004).

O tratamento com ultrassom pode retirar a incrustação já formada na parede do tubo, descascando-a, e evitar que novos cristais de carbonato de cálcio se depositem. Isso ocorre devido sua oscilação de alta frequência, porém como consome grandes quantidades de energia, não pode funcionar continuamente por muito tempo. Além de acelerar a formação de carbonato de cálcio, o tratamento com ultrassom pode também afetar sua morfologia (HAN et al., 2018).

De acordo com Marques (2015) nos seus testes realizados com dispositivos físicos, dentre os dispositivos físicos, o ultrassônico se mostrou mais eficaz na prevenção da incrustação, já que se observou menor massa depositada.

1.2 **Prospecção tecnológica e método *Technology Roadmapping* (TRM)**

1.2.1 Ferramentas de pesquisa bibliográfica e de prospecção tecnológica

O conhecimento científico que se obtém no processo metodológico tem por finalidade, na grande maioria das vezes, explicar e discutir um fenômeno baseado na verificação de uma ou mais hipóteses. Dessa forma está diretamente vinculado a questões específicas, tratando de explicá-las e relacioná-las com outros fatos (PRAÇA, 2015).

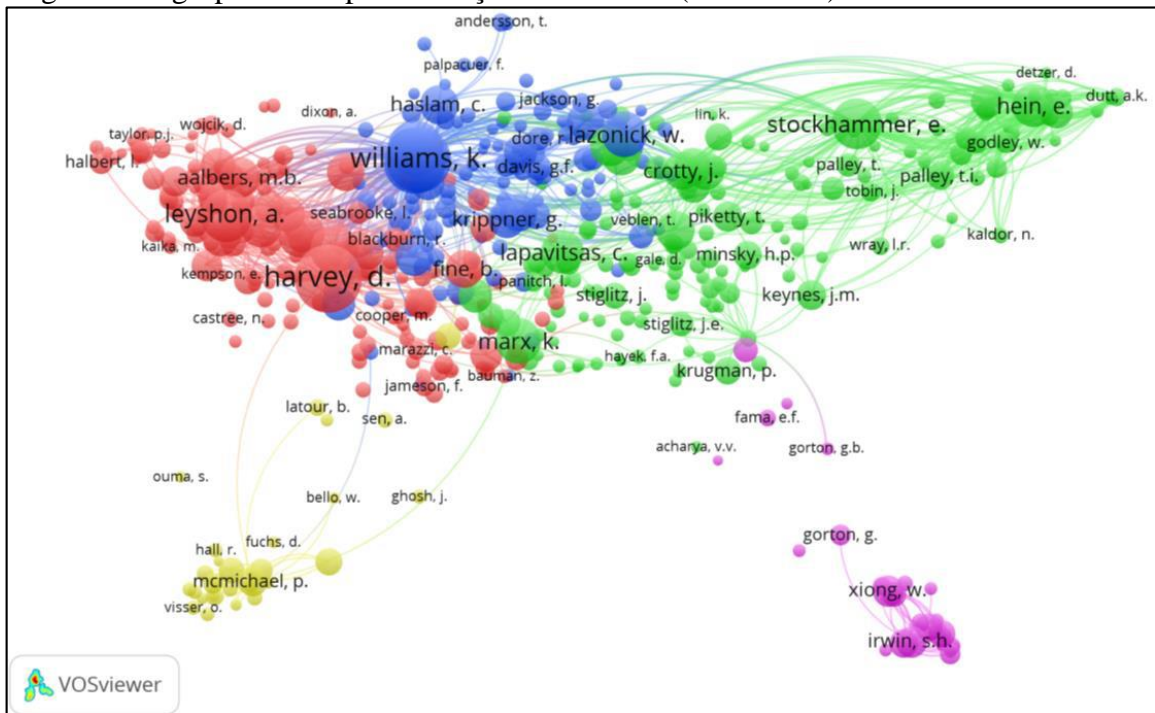
O caminho percorrido para se obter conhecimento científico deve estar sempre direcionado por procedimentos técnicos e metodológicos bastante definidos, de forma a fornecer subsídios necessários para a busca de um resultado provável ou improvável para a hipótese pesquisada, além de auxiliar na detecção de erros e na tomada de decisão (PRAÇA, 2015).

O método científico pode ser conceituado como um conjunto de fases e instrumentos através do qual o pesquisador irá direcionar seu trabalho com critérios de caráter científico a fim de alcançar dados que suportem ou não a teoria inicial (PRAÇA, 2015).

Existem diversas formas, métodos e ferramentas de se fazer uma pesquisa e análises de dados de pesquisa.

O *VOSviewer* é um *software* para construção e visualização de redes bibliométricas. Essas redes podem incluir periódicos, pesquisadores ou publicações individuais, e podem ser construídas através do mapeamento de redes de coautoria, cocitação, acoplamento bibliográfico, e de coocorrência de palavras-chave. A ferramenta fornece uma interface de fácil utilização para visualizar e analisar redes bibliométricas e sociométricas, servindo tanto a pesquisadores quanto a usuários profissionais. Esta ferramenta teve sua origem na Holanda, sendo desenvolvida por Ness Jan van Eck e Ludo Waltman., e usa uma forma de visualização baseada na distância entre os nós da rede analisada. A distância entre dois nós indica aproximadamente a intensidade da relação que existe entre eles, sendo essa tão maior quanto menor for a distância (LIMA; LEOCÁDIO, 2018). O mapeamento de palavras-chaves auxilia pesquisadores a definir os tópicos de pesquisa em suas buscas e estudos. O software *VOS Viewer* oferece análises gráficas baseadas na coocorrência dos itens analisados. O sistema apresenta a conexão entre termos e autores relacionados, proporcionando a divisão em grupos denominados *clusters*. Cada *cluster* tem uma cor e agrupa todos os itens considerados similares. O tamanho dos círculos dos mapas demonstra o número de ocorrência do item e a proximidade entre os itens demonstra seu grau de relação, quanto mais próximos, tanto mais relacionados (MACHADO; HELLENO; SIMON, 2016). A Figura 3 mostra um exemplo de um mapa criado no *VOSviewer*.

Figura 3 - Agrupamentos por cocitação dos autores (1992-2017).



Fonte: PALLUDETO; FELIPINI, 2019.

É de grande importância que se aplique um planejamento estratégico estruturado para fornecer ferramentas de tomadas de decisão. O planejamento estratégico é um processo que vai proporcionar uma sustentação metodológica, estabelecendo a melhor direção a ser seguida. A construção de uma visão prospectiva a qual possibilite prever comportamentos futuros é de suma importância, pois possibilita que a empresa/pessoa se prepare para acompanhar essas mudanças, amortecendo os impactos (FERNANDES et al., 2015).

Nesse contexto, os estudos de prospecção tecnológica, que fornecem as principais tendências no contexto mundial, ajudam na identificação de tecnologias promissoras. Os estudos prospectivos podem ser encarados como a primeira etapa do planejamento, sendo usados para se conhecer consequências futuras de ações tomadas no presente e são baseados no passado. Esses estudos de prospecção devem ser utilizados para entender e solucionar problemas com alto grau de complexidade em um período de tempo longo (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

Existem diversos métodos de prospecção tecnológica, voltados para tomada de decisão, tendências do futuro, gestão e planejamento. Alguns exemplos bem conhecidos são: *Technology roadmapping*, *Data mining*, Análise *SWOT*, Método *Delphi*, Técnica de *Brainstorming*, Análise de tendências, Método de análise hierárquica (AHP), entrevistas,

entre outros (BORSCHIVER; SILVA, 2016). Abaixo há uma breve explicação sobre alguns desses exemplos.

A técnica de *Brainstorming* é uma ferramenta de aplicação simples e fácil, que consiste na formação de um grupo com o objetivo de se obter o maior número de informações possíveis de acordo com o tema escolhido para se trabalhar. A partir das informações obtidas de uma sessão de *brainstorming*, pode-se gerar uma lista com informações que podem servir de base para uma análise, para iniciar um planejamento ou para se conseguir a solução de um determinado problema, orientando as organizações na construção de possíveis cenários (BUCHELE; TEZA; DANDOLINI, 2015).

A análise *SWOT* (*Strength, Weakness, Opportunity, Threaten*) é uma técnica utilizada para gestão e planejamento, em que há uma análise dos fatores internos e externos que podem influenciar determinado planejamento. Os fatores internos são as forças e fraquezas, e os fatores externos são definidos como oportunidades e ameaças. Dessa forma, por meio dessa análise crítica dos ambientes internos e externos, é possível a escolha de uma estratégia adequada para que se alcance os objetivos determinados. Essa técnica consegue mostrar as áreas mais críticas à organização/processo (APPIO et al., 2009; FERNANDES et al., 2015).

O método *Delphi* consiste em uma consulta a especialistas, com o objetivo de obter respostas que refletem a opinião desse conjunto de especialistas acerca do tema de estudo. É realizado através de questionários pré-elaborados que são aplicados de forma individual a um conjunto de peritos e especialistas sobre a tendência de futuro de um determinado processo (CARDOSO et al., 2005).

O *Technology roadmapping* (TRM) é um método que tem por característica uma abordagem estratégica para o gerenciamento e planejamento da inovação, que busca entender a evolução tecnológica de um determinado produto ou processo (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

Neste trabalho escolheu-se utilizar um método de tomada de decisão para abordar o assunto em estudo. A ferramenta escolhida foi o *technology roadmapping* (TRM), que é uma ferramenta de bastante abrangência e versatilidade, possibilitando análise do ambiente, estabelecimento de tendências de mercado, trajetórias tecnológicas e oportunidade de novos negócios.

1.2.2 Panorama e evolução sobre o uso do Roadmap

A utilização do Método *Technology Roadmapping* teve bastante crescimento nas últimas décadas, tendo grande aceitação nas organizações.

O primeiro registro oficial do uso do método é observado em um artigo científico publicado em 1987, que apresenta o trabalho desenvolvido pela Motorola, como já citado anteriormente. Esse artigo apresentou uma abordagem com o objetivo de fundamentar o planejamento dos novos produtos e tecnologias, e foi então batizado de *Technology Roadmap* (TRM) (OLIVEIRA et al., 2012).

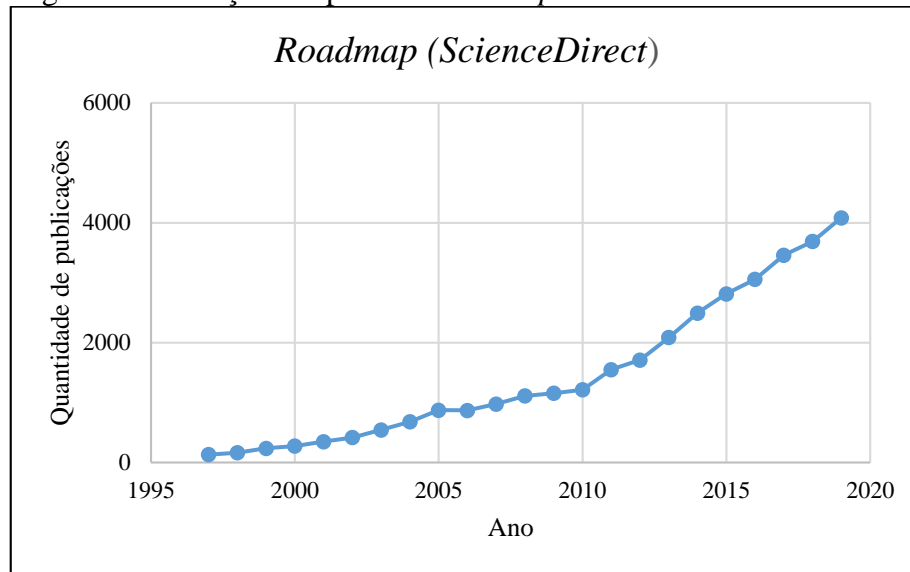
A partir da década de 1990 surgiram alguns novos trabalhos, que também foram se tornando referências para a propagação do *roadmapping*. Contudo, foi somente a partir dos anos 2000 que houve um crescimento acentuado da utilização desse método, quando surgiram outros trabalhos que contribuíram para o aumento da sua popularidade (OLIVEIRA et al., 2012).

Em 2011 foi criado um documento com uma lista abrangente de mais de 2000 documentos de *roadmaps* de domínio público. Essa lista foi feita pelo *Institute for Manufacturing da University of Cambridge*, com base em um levantamento feito por Robert Phaal. A lista organiza os *roadmaps* em tópicos relacionados a diversas áreas como: química; construção; energia; materiais; nanotecnologia; transporte; software, computação e tecnologia da informação e comunicação; científica, política, industriais e comerciais; eletrônicas e outras (PHAAL, 2011).

Com o objetivo de verificar o panorama, analisar as tendências de evolução do método e sua aplicação e relevâncias em diversos setores, foi realizada uma busca no site ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>) e na base Scopus (<https://www.scopus.com/>), utilizando a palavra-chave *roadmap*. A busca na base Scopus gerou um resultado total de 24.275 artigos, enquanto a busca no ScienceDirect gerou 37.805 resultados.

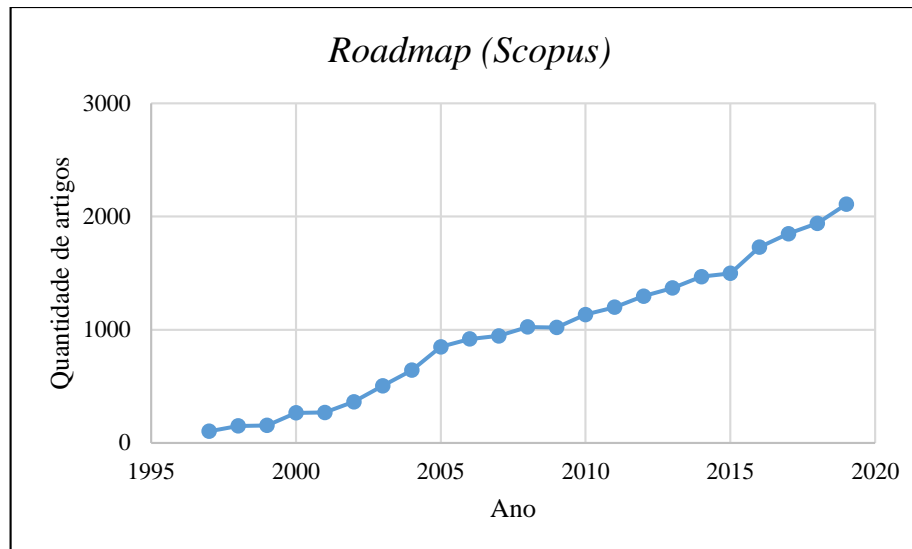
Com as buscas realizadas foi possível construir um gráfico que mostra a evolução temporal do *roadmap* e como vem sendo o seu crescimento. A partir da Figura 4 e da Figura 5 é possível verificar o que já foi dito anteriormente, sobre o crescimento no uso da metodologia a partir dos anos 2000.

Figura 4 - Evolução temporal do *roadmap*.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 5 - Evolução temporal do *roadmap*.

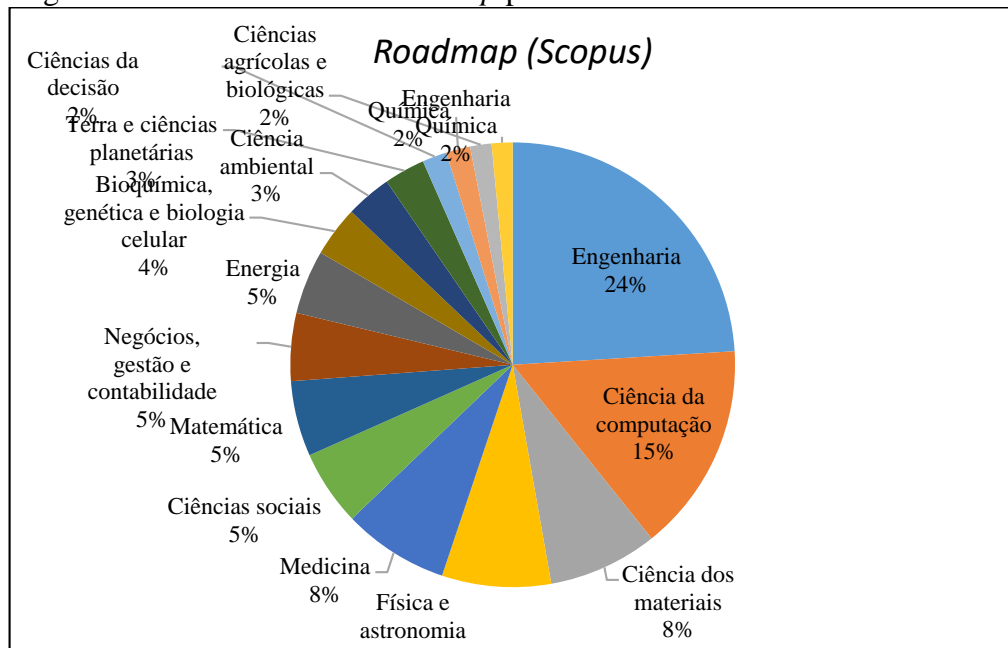


Fonte: O autor, 2020.

Com esse levantamento também foi possível verificar algumas áreas onde a metodologia é utilizada, podendo-se perceber e confirmar a flexibilidade do método, já que é aplicado em diversas áreas. A

Figura 6 apresenta esse levantamento, não englobando todas da pesquisa.

Figura 6 - Levantamento do *roadmap* por áreas.

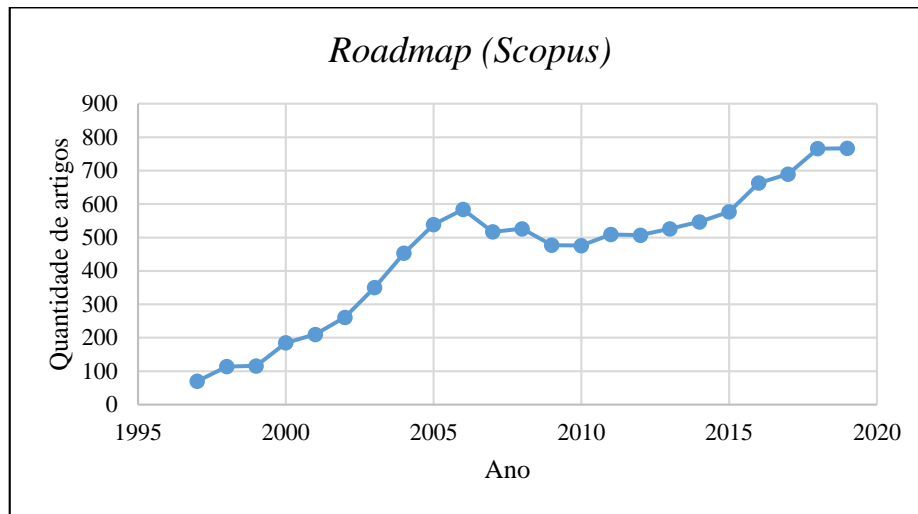


Fonte: O autor, 2020.

Ainda de acordo com a busca realizada na base Scopus, foi possível verificar os países responsáveis por publicações que abordem o método em estudo. Os 10 principais países detentores desses trabalhos são: Estados Unidos (9111), Alemanha (2292), Reino Unido (2265), China (1559), França (1521), Itália (1304), Holanda (1092), Canadá (992), Índia (880), Espanha (839). O Brasil se encontra em 20º com um total de 328 publicações.

Com o objetivo de verificar o panorama, analisar as tendências de evolução do método e sua aplicação e relevâncias dentro de áreas de estudo relacionadas ao tema do trabalho, foi realizada uma busca na base Scopus (<https://www.scopus.com/>) utilizando alguns filtros. A busca foi realizada utilizando a palavra-chave “*roadmap*” nos campos título, resumo e palavras-chave, utilizando os filtros de área de estudo de Engenharia, Engenharia Química e Química. Essa busca gerou um resultado de 11.190 artigos e a Figura 7 apresenta a evolução temporal dessa busca, mostrando a evolução dos trabalhos abordando *roadmap* dentro dessas áreas de estudo.

Figura 7 - Evolução temporal do *roadmap* utilizando filtros de área de estudo.



Fonte: O autor, 2020.

1.2.3 Technology Roadmapping

O método *Technology Roadmapping* (TRM) é uma técnica para gestão e planejamento, com uma abordagem estruturada, que induz a criação de visões prospectivas, possibilitando a previsão dos sistemas (LOPES JÚNIOR; TAVARES; PESSOA, 2011). É conhecido por ser um processo de planejamento que fornece aos tomadores de decisão meios de identificar, avaliar e selecionar opções estratégicas com a finalidade de atingir objetivos tecnológicos, diferindo de forma significativa de outras ferramentas de planejamento e análise (COELHO et al., 2005).

Geralmente essa abordagem inclui dois aspectos principais, que são a aplicação (o processo de *roadmapping*) e o resultado da aplicação (um mapa, o *roadmap*), ou seja, o *roadmap* é o produto que se espera de um estudo de *technology roadmapping* (CARVALHO; FLEURY; LOPES, 2012). Assim, o *roadmap* está relacionado com o planejamento de ciência e tecnologia sintetizado na forma de mapa, enquanto o *roadmapping* está relacionado ao desenvolvimento do *roadmap* (KOSTOFF; SCALLER, 2001). O *roadmapping* pode ser feito com diferentes propósitos, enquanto os *roadmaps* podem remeter diferentes aspectos de um problema de planejamento. Os *roadmaps* podem também ser caracterizados por prever algo possível ou provável de acontecer no futuro (KAPPEL, 2001).

De forma geral, o *roadmap* é uma representação gráfica multicamada, em que

tecnologia e produto estão ligados às oportunidades do mercado (PROBERT; FARRUKH; PHAAL, 2003). Há uma integração de visões de diferentes áreas por camadas de forma a alinhar essas visões em uma linha do tempo. Esse alinhamento da integração entre camadas e tempo busca construir uma visão do futuro ao responder três perguntas que se relacionam com a evolução tecnológica de uma organização ou negócio: “Onde estamos? ”, “Aonde queremos chegar? ” e “Como vamos chegar?” (OLIVEIRA et al., 2012). Dessa forma, consiste em uma ferramenta de tomada de decisão utilizada, principalmente na indústria, com o objetivo de desenvolver estratégias de planejamento, alinhando mercado, produto e tecnologia em três camadas distintas em um horizonte temporal definido, podendo-se utilizar de horizontes temporais de curto, médio e longo prazo (PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2004; LOPES JÚNIOR; TAVARES; PESSOA, 2011).

Para realizar o processo de *technology roadmapping* ou elaboração do *roadmap*, geralmente, um grupo de especialistas é colocado em conjunto para coletar as informações e apresentar um planejamento com o objetivo de orientar a decisão sobre os melhores e mais rentáveis investimentos (COELHO et al., 2005). Dessa forma, o *roadmap* é uma ferramenta que serve de apoio para uma determinada equipe que está sendo encarregada do desenvolvimento de um produto, ligando sua estratégia às ações futuras e incorporando um plano para que a infraestrutura, as competências e as tecnologias estejam disponíveis no momento adequado (COELHO et al., 2005). O *roadmap* pode ser também uma ferramenta que vai ajudar empresas a se manter mesmo em ambientes turbulentos, pois oferecem um foco de monitoramento do ambiente, assim como meios de acompanhamento do desempenho de tecnologias.

O *Technology roadmapping* vem sendo conceituado como um método de planejamento estimulado pela necessidade de tecnologias, ajudando a identificar, selecionar e desenvolver tecnologias alternativas que satisfaçam um conjunto de necessidades ou de produtos já definidos. É um método de planejamento direcionado pela necessidade e não pela solução. O processo de *technology roadmapping* ajuda na apresentação de informação sobre a situação atual do sistema em análise, assim como também sobre os alvos a serem atingidos num certo espaço de tempo. Os mapas tecnológicos podem possuir formas variadas, porém normalmente compreendem tabelas que se baseiam em multiníveis relacionados a cronogramas temporais, permitindo o alinhamento dos desenvolvimentos tecnológicos às tendências do mercado. Esse método tem sido mais impulsionado pelo mercado do que pela tecnologia em si, buscando construir uma visão de futuro e as tecnologias necessárias para

chegar lá (COELHO et al., 2005; BRAY; GARCIA, 1997)

Desde que suas raízes foram identificadas por Probert e Radnor em abordagem na indústria automotiva americana, seguida pela Motorola e a Corning, no final dos anos 70 e começo dos 80, o processo de elaboração de *roadmaps* vem sendo amplamente empregado na indústria para apoiar estratégia e planejamento (PHAAL; FARRUKH; PROBERT, 2004). Com seu pioneirismo, a Motorola, nos anos 1970, demonstrou o potencial da abordagem e incentivou sua aplicação em outras organizações. A Motorola adotava uma abordagem focada na evolução e posicionamento de suas tecnologias, tendo por objetivo alinhar o desenvolvimento dos seus produtos e suas tecnologias (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

A Motorola vem utilizando dois tipos de *roadmaps* tecnológicos em seu benefício. O “*Emerging Technology Roadmap*” trabalha com uma única tecnologia nova e emergente, avalia a qualificação tecnológica da Motorola frente a essa tecnologia, comparando sua capacitação com relação aos competidores e prevendo o progresso da tecnologia. O “*Product Technology Roadmap*” agrega conhecimento para conceder uma compreensão melhor na linha temporal do produto (passado, presente e futuro), o que estimula o uso de ferramentas no processo de planejamento e gerenciamento do produto e o fornecimento de meios para avaliação do progresso dessas atividades (RICHEY; GRINNELL, 2004; LETABA; PRETORIUS; PRETORIUS, 2015).

Desde então, esse método tem sido utilizado em grande variedade de contextos, sobretudo, em nível corporativo e industrial (BRAY; GARCIA, 1997). No nível acadêmico o interesse pelo método teve início na década de 90, sendo possível identificar um aumento no número de publicações a partir de 2004 (CARVALHO; FLEURY; LOPES, 2012; CARVALHO; FLEURY; LOPES, 2013).

1.2.3.1 Principais usos do método e algumas razões e benefícios da sua utilização

Os *roadmaps* integram as necessidades do mercado e do consumidor, a evolução do produto e a introdução de novas tecnologias logo no início do processo. Esses mapas tecnológicos auxiliam na identificação e solução de problemas e atuam como um guia, orientando a tomada de decisões (COELHO; BOTELHO JUNIOR; TAHIM, 2012).

Os *roadmaps* têm vários usos potenciais com benefícios visíveis para empresas e organizações. Alguns usos importantes que podem ser destacados são: auxiliar no desenvolvimento de um senso comum sobre determinado conjunto de necessidades e quais as tecnologias necessárias para satisfazê-las; fornecer mecanismos que vão auxiliar na antecipação de desenvolvimentos tecnológicos em determinadas áreas; e também produzir uma estrutura que vai auxiliar no planejamento e coordenação de desenvolvimentos tecnológicos, tanto para uma empresa como para um segmento industrial (GARCIA; BRAY, 1997).

Um dos principais benefícios que um *roadmap* pode oferecer é a produção de informações com o objetivo de auxiliar a organização na tomada de decisões no que diz respeito aos investimentos em tecnologia. Isso pode ser realizado através da identificação de tecnologias críticas ou lacunas tecnológicas que necessitam ser preenchidas para atender o desempenho dos produtos desejados; e também, pela identificação de maneiras de impulsionar investimentos em pesquisa e desenvolvimento por meio da coordenação das atividades de pesquisa, tanto em uma única empresa quanto por parcerias (GARCIA; BRAY, 1997).

Eventualmente, o processo de *technology roadmapping* acarreta grandes vantagens às organizações, sendo capaz de expor visões, atraindo recursos da indústria e do governo; incentivar pesquisas e controlar os progressos; estimular a formação de redes interdisciplinares e trabalho em equipe e acaba se transformando em uma lista de possibilidades para um determinado campo, de forma a estimular pesquisas mais focadas (GARCIA; BRAY, 1997).

Outro benefício importante é que, como um instrumento de marketing, o *roadmap* pode mostrar que uma empresa entende as necessidades do consumidor, e está tendo acesso ou desenvolvendo as tecnologias para atender suas necessidades (COELHO et al., 2005).

Já que existe uma gama de possibilidades de acesso ao conhecimento ou para coletar e tratar informações, é possível a integração de outros métodos e técnicas no processo de planejamento e desenvolvimento dos *roadmaps*. A utilização de técnicas já citadas anteriormente, como matriz *SWOT* e outras, juntamente ao processo de *roadmapping* são amplamente utilizadas quando se busca entender tendências, direções e evoluções temporais de séries de dados, assim como discutir forças direcionadoras e modeladoras dos avanços tecnológicos. A utilização dessas técnicas pode se somar aos benefícios do *roadmap*, complementando-o (COELHO et al., 2005).

Existem algumas razões pelas quais se pode pensar em realizar um *roadmap*. O Albright Strategy Group aborda dez razões para se fazer *roadmaps*, que são mostradas de forma simplificada abaixo.

1. São bons exercícios de planejamento, que levam ao exame do potencial das estratégias competitivas.
2. O tempo é incorporado de maneira explícita, ajudando na identificação das tecnologias e capacidade para se dispor delas em um determinado período de tempo.
3. Relacionam estratégias de negócios e dados de mercado com decisões sobre produtos tecnológicos.
4. Revelam lacunas nos planos para desenvolvimento de produtos e tecnologias e identificam áreas em que se evidencia necessidade de atuação rápida.
5. Auxiliam na priorização dos investimentos baseado em tendências fortes.
6. Estruturam um conjunto mais realista de objetivos, que considera a natureza da competitividade do setor ou indústria.
7. Podem atuar como manuais ou guias, que permitem que a equipe reconheça e opere em situações que demandam mudanças de direção.
8. O compartilhamento de *roadmaps* permite o uso estratégico das tecnologias através de diferentes linhas de produtos.
9. Proporcionam a comunicação entre negócios, planos e produtos tecnológicos a toda a comunidade interessada.
10. Constroem equipes de desenvolvimento.

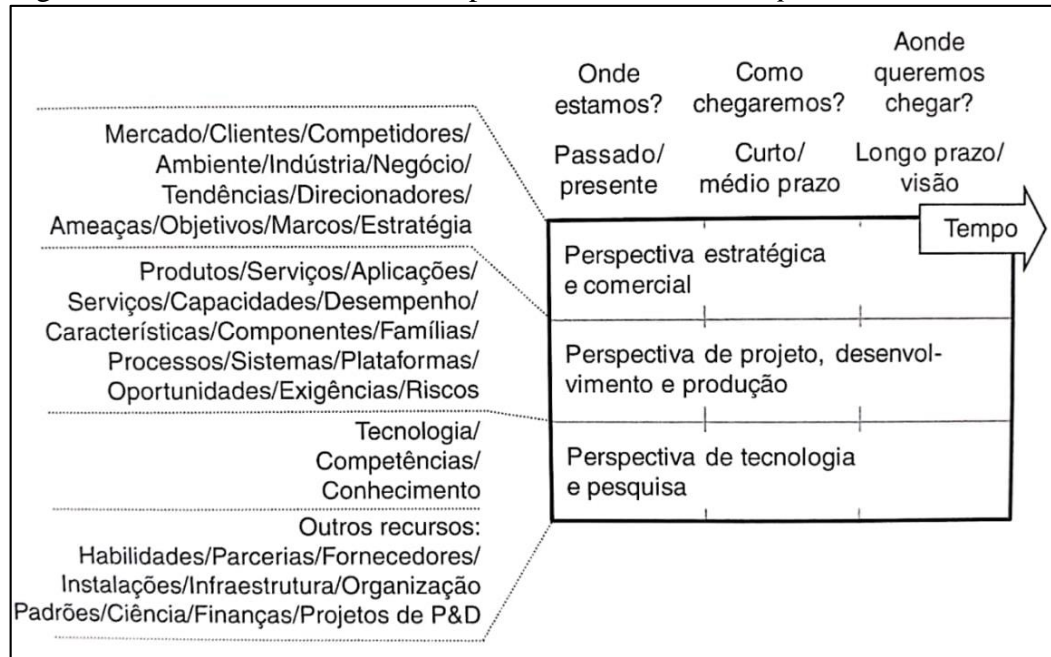
1.2.3.2 Estrutura e arquitetura do *Roadmap*

Os *roadmaps* possuem diversas formas de apresentação gráfica pelo fato de ser um método bastante flexível. Essa flexibilidade do método *technology roadmapping* é uma grande vantagem, que permite diversidade nas alternativas de camadas e linhas de tempo para uso na arquitetura do *roadmap*, propiciando auxílio no planejamento estratégico.

Há uma grande variedade das possíveis camadas e linhas do tempo que são utilizadas no *roadmap*. Dessa forma, essa grande flexibilidade permite sua aplicação e modificação,

podendo ser moldado para o objetivo e contexto da aplicação desejada. Com relação ao intervalo de tempo, que é adotado em cada período estudado, pode-se ressaltar que ele vai depender do contexto em estudo e deve ser analisado de acordo com cada aplicação. A Figura 8 apresenta alguns exemplos de camadas e linhas do tempo que podem ser utilizadas.

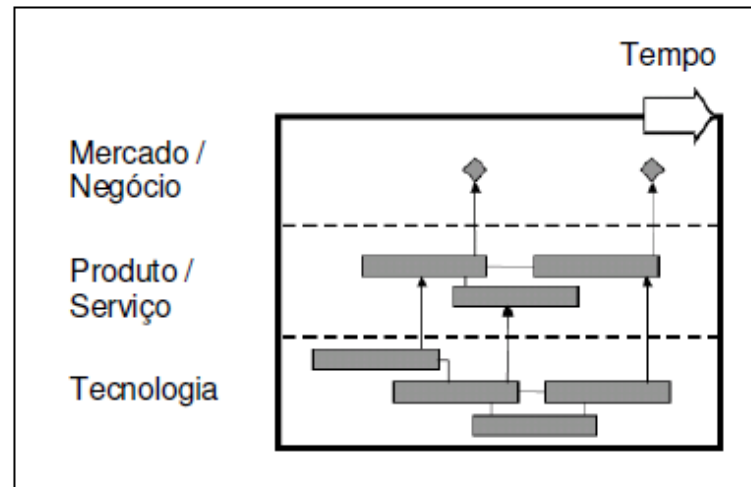
Figura 8 – Camadas e linhas do tempo utilizadas no *roadmap*.



Fonte: OLIVEIRA et al., 2012.

De maneira geral, verifica-se que a arquitetura mais habitual do *roadmap*, como já citado anteriormente, é uma representação que se baseia na dimensão tempo e nos aspectos relevantes do negócio (mercado, produto e tecnologia). A Figura 9 apresenta um modelo genérico comumente usado de arquitetura do *roadmap* (BORSCHIVER; SILVA, 2016; OLIVEIRA et al., 2012).

Figura 9 - Arquitetura de um *roadmap*.

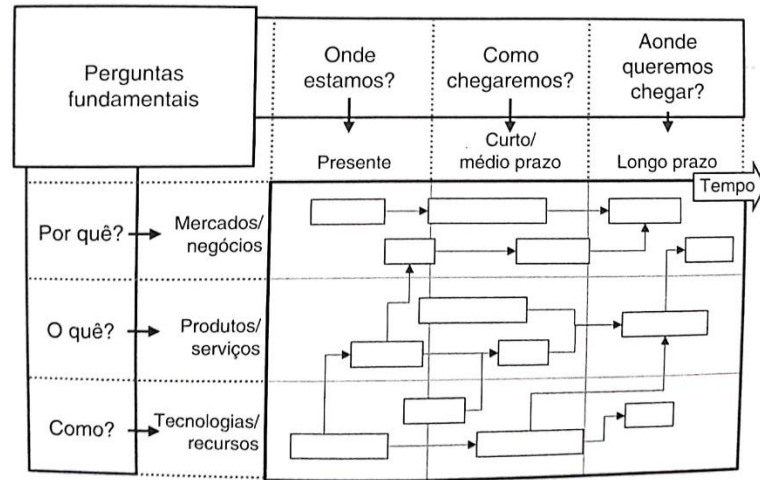


Fonte : LOUREIRO, 2010.

Esse arranjo dos eixos do *roadmap* é o fator que difere esse método das demais abordagens que são aplicadas para planejar, desenvolver e gerenciar a inovação. Isso ocorre pois essa arquitetura viabiliza a organização das informações propiciando um esboço mais simplificado dos aspectos distintos da inovação (SOUZA, 2019).

Os *roadmaps* estabelecem um objetivo futuro, respondendo um conjunto de questionamentos essenciais para desenvolver um plano de ação a fim de chegar no objetivo traçado. Como já citado anteriormente, o *roadmap* fornece um alinhamento da integração entre camadas e tempo buscando uma visão do futuro ao responder três perguntas: “Onde estamos?”, “Aonde queremos chegar?” e “Como vamos chegar?”, que definem os períodos na linha do tempo. Além disso, responde três perguntas que explicitam as camadas da arquitetura do *roadmap*: “por quê?”, “o quê?” e “como?”. Esses questionamentos são as perguntas essenciais de um *roadmap* e são ilustradas na matriz do *roadmap* mostrada na Figura 10 (OLIVEIRA et al., 2012).

Figura 10 – Matriz do *roadmapping* formada pelas perguntas fundamentais que se relacionam com a linha do tempo e com as camadas.



Fonte: OLIVEIRA et al., 2012.

Cada pergunta tem um significado e estes são apresentados a seguir:

As perguntas relacionadas com a linha do tempo têm sua explicação apresentada na Tabela 4 e as perguntas relacionadas com as camadas na Tabela 5.

Tabela 4 - Perguntas relacionadas a linha do tempo.

PERGUNTA	SIGNIFICADO
Onde estamos?	Identifica a posição atual da organização ou negócio, considerando mercados, produtos e tecnologias.
Aonde queremos chegar?	Estabelece estratégias e objetivos de longo prazo. Particulariza características esperadas para os mercados no longo prazo, criando objetivos e ações para novos produtos e serviços, que vão guiar a evolução das tecnologias e recursos.
Como chegaremos?	Descreve o caminho entre a situação atual (onde estamos) e o futuro (aonde queremos chegar). Determinação das ações de curto e médio prazo.

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA et al., 2012.

Tabela 5 - Perguntas relacionadas às camadas.

PERGUNTA	SIGNIFICADO
Por quê?	Define a razão que justifica a criação de um novo produto, serviço ou tecnologia. Identificar as oportunidades e ameaças; competidores e sócios e direção estratégica.
O quê?	Define as características dos produtos e serviços que devem ser oferecidos. Esse produto/serviço é oferecido para atingir a oportunidade identificada no mercado.
Como?	Define como desenvolver e entregar novos produtos e serviços, ou seja, os meios necessários para atingir o objetivo; que inclui tecnologias e outros tipos de recursos.

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA et al., 2012.

Segundo Phaal; Farrukh e Probert (2004), as estratégias das inovações são construídas a partir de duas rotas: *Market pull* (puxadas pelo mercado) e *technology push* (empurradas pela tecnologia). Na primeira rota, a inovação se justifica pela perspectiva do mercado e objetivos do negócio, priorizando oportunidades, sendo estruturada, convergente e orientada para os clientes. Já na segunda rota, as tecnologias fomentam inovação para o mercado, buscando oportunidades, sendo desestruturada e divergente.

No *Market pull*, geralmente, as camadas do *roadmap* mostram o porquê da inovação, o que desenvolver para inovar e como fazer isso. No *technology push*, as tecnologias tornam-se o porquê das inovações. O domínio de uma tecnologia pode motivar a criação de novos produtos ou serviços, exigindo a geração de novos negócios e mercados. Exemplificando, para a estratégia “puxada pelo mercado”, um produto ou inovação seria “o quê?”; a demanda de mercado que faz ele surgir seria o “por quê?” e a tecnologia exigida para o seu desenvolvimento seria o “como?”. Para a estratégia “empurrada pela tecnologia” poderia ocorrer o contrário, ou seja, o domínio que uma organização possui de uma determinada tecnologia pode estimular a formação de novos produtos (OLIVEIRA et al., 2012).

1.2.3.3 Tipos, propósitos, formatos e usos de *roadmaps*

Para melhor entendimento das variedades de *roadmaps* existentes na literatura, alguns autores adotaram métodos de classificação relacionados aos seus tipos e formatos, visando auxílio numa discussão construtiva dos processos de prospecção tecnológica.

Existem vários tipos, abordagens e classes de *roadmaps* na literatura. Os *roadmaps* podem assumir diversas formas, ter muitos propósitos e formatos, sendo a mais comum apresentada no tópico anterior. É fundamental definir o objetivo macro para permitir a melhor escolha do tipo de *roadmap*, ou combinação destes, e seus usos, de forma a atender às necessidades da organização (COELHO et al., 2005).

Garcia e Bray (1997) definem 3 tipos de *roadmaps*: *Roadmap* de Produto, *Roadmap* de tecnologia emergente e *Roadmap* orientado a um determinado assunto. O *roadmap* de produto é gerido pelas necessidades do produto e/ou processo. O *roadmap* de tecnologia emergente está orientado para uma tecnologia específica, focando em prever o desenvolvimento e a comercialização da tecnologia emergente. Além disso, considera a vantagem competitiva dessa tecnologia, levando em consideração como a posição da organização e a tecnologia em questão vão evoluir. O *roadmap* orientado a um determinado assunto deseja realizar a identificação dos problemas e suas consequências para o planejamento estratégico e orçamento.

Segundo Garcia e Bray (1997) e Kappel (2001) o *roadmap* pode ser representado em dois níveis setoriais, sendo eles o *Roadmap* Corporativo, que é desenvolvido internamente como parte do planejamento estratégico de uma organização, e o *Roadmap* Industrial, que abrange colaboração de várias organizações de forma a atender as necessidades específicas de diversas empresas.

Ainda segundo Kappel (2001), existem quatro grupos de *roadmaps* que são baseados nas suas áreas de aplicação. O primeiro é o de Ciência/tecnologia, que visa entender o futuro, verificando tendências, originando previsões e determinando metas de desenvolvimento para o setor. Outro grupo é o da Indústria, que tem por objetivo definir as expectativas de desenvolvimento da tecnologia em relação ao custo e desempenho para um setor competitivo. O terceiro grupo é o de Produto-tecnologia que visa alinhar as decisões de desenvolvimento de produto com as tendências de mercado e de tecnologia de uma empresa. O último grupo é o de Produto, que articula a direção e o cronograma de evolução de um produto e/ou famílias

de produtos de uma determinada empresa.

Um método de aplicação do *technology roadmapping* em que a organização do processo é realizada com quatro *workshops* (seminários) foi apresentado por Albright e Kappel (2003). Os quatro seminários são: mercado, produto, tecnologia e geração de plano de ação e análise de risco. De forma geral, o seminário de mercado relaciona-se com a definição do mercado de interesse e com a estratégia competitiva. O seminário de produto destaca a geração de um *roadmap* de produto, o mapa de direcionadores do produto, os objetivos a serem alcançados na produção, planos de evolução. O seminário de tecnologia trata do desenvolvimento de um *roadmap* de tecnologia, mapa de elementos voltado para a tecnologia, modelo de custos futuros. Por fim, o seminário de geração do plano de ação está relacionado com o resumo das ações necessárias, mapa de investimentos e um *roadmap* de riscos.

Phaal; Farrukh e Probert (2004) fizeram uma análise de aproximadamente 40 *roadmaps*, revelando um grande número de tipos, que foram organizados em 16 grandes áreas de estudo, se referindo a propósitos e formatos gráficos, de acordo com as observações em suas estruturas e conteúdo. Resumindo, os autores criaram uma categorização dos *roadmaps* que se divide em propósitos das organizações ou formatos gráficos.

Algumas variações dos *roadmaps* baseados nos propósitos estão descritas a seguir:

- ✓ Planejamento de produto: inserção da tecnologia em produtos manufaturados, quando diferentes produtos são associados com as tecnologias que precisam para sua produção. São usados para ligar planejamento tecnológico e desenvolvimento de produtos.
- ✓ Planejamento de serviço e capacitação: é mais conveniente para empresas de serviços, focado em como a tecnologia dá suporte à capacidade organizacional, ou seja, como a tecnologia pode auxiliar no desenvolvimento de recursos da empresa para a prestação de serviços.
- ✓ Planejamento estratégico: é adequado para avaliação da estratégia global, em relação à avaliação e diferentes oportunidades ou ameaças, especialmente no nível dos negócios.
- ✓ Planejamento de longo prazo: usado em atividades que requerem planejamento de longo prazo, estendendo o horizonte de planejamento. É realizado muitas vezes em nível setorial ou nacional, como planejamentos governamentais relacionados aos

países.

- ✓ Planejamento de conhecimento: ordena iniciativas relacionadas ao capital intelectual e gestão do conhecimento com os objetivos do negócio.
- ✓ Planejamento de projeto: foca na implementação e no gerenciamento do programa estratégico e mais diretamente no planejamento de projetos.
- ✓ Planejamento de processos: apoia a gestão do conhecimento, com foco em um processo em particular, por exemplo, o desenvolvimento de um novo produto.
- ✓ Planejamento de integração: tem foco na integração e/ou evolução da tecnologia em termos de como diferentes tecnologias combinam com produtos e sistemas, ou como formar novas tecnologias, muitas vezes sem mostrar explicitamente a dimensão tempo.

Os tipos de formatos gráficos são outros fatores que contribuem para a variedade dos *roadmaps* e estão descritos a seguir:

- ✓ Formato de múltiplas camadas: apresenta um formato com várias camadas como tecnologia, produto e mercado. Pode-se explorar a evolução de cada camada e também a conexão entre as subcamadas, de forma a facilitar a integração.
- ✓ Formato de tabelas: apresenta o desempenho quantitativo do produto ou da tecnologia relacionando com o tempo.
- ✓ Formato de barras: é um formato simples, que condensa as saídas do mapa com o objetivo de facilitar a comunicação, integração e o desenvolvimento de um software de suporte à geração do *roadmap*.
- ✓ Formato de figuras: admite representações figurativas para transmitir a integração tecnológica e os planos.
- ✓ Formato de gráficos: normalmente usados quando se pode quantificar o desempenho do produto ou da tecnologia para cada subcamada e expressá-lo em um gráfico.
- ✓ Formato de fluxogramas: figura em forma de fluxo, que representa objetivos, ações e saídas.
- ✓ Formato de camada única: é uma variação do tipo camadas múltiplas, mas como usa uma camada única não mostra a conexão entre elas.
- ✓ Formato de texto: baseado em texto e relatórios de apoio, descrevendo o que

seria abordado nos formatos gráficos.

1.2.3.4 Processo de aplicação

Existem diversos estudos para aplicação do *roadmap*, cada um com suas particularidades. Neste tópico serão abordados dois processos de aplicação, o método utilizado por Garcia e Bray (1997) e a metodologia utilizada por Borschiver e Silva (2016).

O método utilizado por Garcia e Bray (1997) pode ser conduzido em três fases: atividades preliminares, desenvolvimento do *roadmap* e atividades de continuidade. A metodologia desenvolvida por Borschiver e Silva (2016) pode ser desenvolvida em três fases: Fase Pré-prospectiva, Fase Prospectiva e Fase Pós-prospectiva. A fase Pré-prospectiva de Borschiver e Silva (2016) tem semelhança com a fase preliminar de Garcia e Bray (1997), assim como as fases prospectiva e pós-prospectiva são semelhantes à fase de desenvolvimento do *roadmap* citada por Garcia e Bray (1997).

A metodologia adotada por Garcia e Bray (1997) é composta por três fases, como já citado, sendo a primeira delas a definição de atividades preliminares. Nessa primeira fase os objetivos estratégicos são traçados, as partes interessadas relevantes são identificadas e a gestão do *roadmapping* tecnológico é criada. Na segunda fase ocorre o desenvolvimento em si do *technology roadmapping* dividido em sete passos. Na última fase tem-se as atividades de continuidade que também incluem sua revisão e atualização. As fases da metodologia estão dispostas na Tabela 6.

Seguindo a metodologia adotada por Borschiver e Silva (2016), a aplicação do método de *technology roadmapping* pode ser dividida em três fases, como citado anteriormente. A etapa pré-prospectiva se divide em quatro fases: identificação do tema a ser estudado, levantamento bibliográfico do tema (estado da técnica/arte), estabelecimento de objetivos e estratégias traçadas para elaboração do *roadmap* do produto desejado. A etapa prospectiva se divide em pesquisa direcionada e análise dos resultados gerados pela busca. A terceira etapa, a etapa pós-prospectiva, se divide em duas fases, que são a elaboração e análise do *roadmap* e a conclusão.

Essas duas metodologias têm diversos pontos em comum e serão utilizadas como base para a execução desse trabalho. A descrição da metodologia e implementação do método

technology roadmapping neste trabalho será apresentada no capítulo 2.

Tabela 6 - Fases do processo de aplicação do *technology roadmapping* segundo Garcia & Bray (1997).

FASE 1	<p>ATIVIDADE PRELIMINAR</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Satisfazer as condições essenciais. 2. Estabelecer liderança/patrocinador. 3. Definir o escopo e limites para o <i>technology roadmapping</i>.
FASE 2	<p>DESENVOLVIMENTO DO <i>TECHNOLOGY ROADMAP</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar o “produto” que será foco do <i>roadmapping</i>. 2. Identificar os requerimentos críticos do sistema e suas metas. 3. Especificar as áreas tecnológicas majoritárias. 4. Especificar os direcionadores tecnológicos e seus alvos. 5. Identificar as alternativas tecnológicas e suas linhas do tempo. 6. Recomendar as alternativas tecnológicas que podem ser atingidas. 7. Criar o relatório de <i>technology roadmapping</i>.
FASE 3	<p>ATIVIDADE DE CONTINUIDADE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Criticar e validar o <i>Roadmap</i>. 2. Desenvolver o plano de implementação. 3. Revisar e atualizar

Fonte: Adaptado de Garcia & Bray, 1997.

2 METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo descrever a metodologia de *technology roadmapping* e o método de elaboração do *roadmap* utilizado como base para a construção desse trabalho. Além disso, expõe a metodologia de pesquisa empregada neste estudo, apresentando as atividades realizadas em cada fase da elaboração do trabalho.

2.1 Metodologia de aplicação do *Technology Roadmapping*

A metodologia utilizada nesse estudo será baseada na utilizada por Borschiver e Silva (2016), e neste tópico será apresentada a metodologia utilizada pelas autoras em seu livro.

A metodologia é composta por três etapas, sendo elas: Etapa Pré-prospectiva, Etapa Prospectiva e Etapa Pós-Prospectiva, que são usadas para identificação e análise das informações.

A primeira etapa, a Etapa Pré-prospectiva, compreende uma pesquisa preliminar, sendo uma busca geral sobre o assunto em estudo, de forma a identificar os principais conceitos, definir a abordagem a ser utilizada e a estratégia de busca dos documentos para a fase seguinte (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

A segunda etapa, a Etapa Prospectiva, tem por base as informações obtidas na fase anterior, com palavras-chaves específicas e buscas de documentos técnicos (artigos científicos e patentes). Uma análise detalhada acompanha essa busca, nos quais os documentos encontrados são analisados conforme alguns critérios estabelecidos, como ano de publicação, país de origem, tipo de autor e foco sobre o objeto em estudo. Essa etapa pode ser dividida em duas outras fases, que são a Definição da estratégia (busca orientada) e a Análise dos resultados (organização das informações).

Na etapa de Definição da estratégia realiza-se a busca das informações de forma a organizá-las em quatro períodos de tempo, que são: estágio atual, curto prazo, médio prazo e longo prazo. No estágio atual (ano zero), devem ser analisados artigos de mídia especializada, sites de empresas, organizações governamentais e não governamentais, entre outros. Para o curto prazo (0 – 5 anos) devem ser analisadas patentes já concedidas, que demonstram ter um

grau de desenvolvimento mais avançado da tecnologia. Para o médio prazo (6 – 10 anos), são analisados pedidos de patentes, e para longo prazo (>10 anos) são analisados artigos científicos (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

A etapa de análise dos resultados requer uma organização para que se tire dos documentos toda a informação necessária. É comum a utilização de planilhas eletrônicas para organização dessas informações, que podem originar gráficos que ilustrem os resultados obtidos. Segundo a metodologia utilizada, a análise pode ser dividida em três níveis. No nível macro não se faz necessária uma leitura aprofundada dos documentos, retiram-se informações mais imediatas. No nível meso é feita leitura do resumo dos documentos com o objetivo de verificar suas informações principais, criando taxonomias para definição do assunto e agrupando os principais pontos em estudo. No nível micro deve-se verificar informações mais detalhadas caracterizando melhor as taxonomias criadas.

A última etapa é a Etapa Pós-prospectiva, em que todas as análises que foram feitas nas fases anteriores vão ser dispostas em um mapa com a evolução temporal das tendências que foram observadas. Nessa etapa identificam-se camadas que vão compor o eixo vertical e relacionar-se com a divisão temporal do eixo horizontal do *roadmap* (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

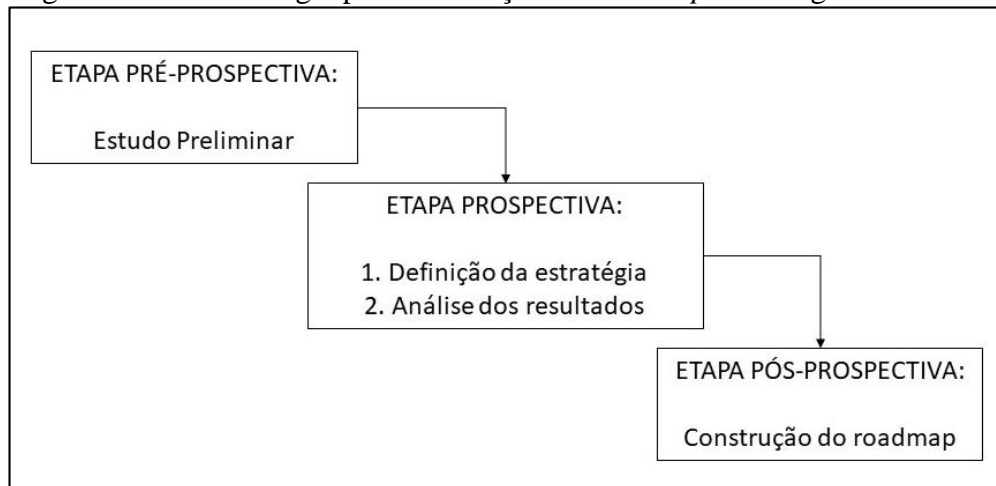
- Camada 1: análise dos ambientes interno e externo da organização. Esse nível pode se referir a assuntos como mercado, consumidores, competidores, ambiente, indústria, negócio, tendências, motivação, ameaças, objetivos, marcos e estratégia.

- Camada 2: se refere aos mecanismos que podem ser usados para alcançar o objetivo da camada 1. Neste caso, os assuntos podem ser produtos, serviços, operações, entre outros.

- Camada 3: aborda os recursos necessários para obtenção dos objetivos da camada 1 e para aplicação dos mecanismos da camada 2. Este nível aborda as técnicas relativas a como fazer, tratando de assuntos como tecnologia, processo, habilidades, parcerias, fornecedores, instalações, infraestrutura, organização, normas, ciência, finanças e projetos de P&D.

A Figura 11 ilustra como a pesquisa foi aplicada e desenvolvida, apresentando o esquema desde a identificação do tema até a conclusão.

Figura 11 – Metodologia para construção do *roadmap* tecnológico.



Fonte: adaptado de BORSCHIVER; SILVA, 2016.

2.2 Metodologia do trabalho

A pesquisa científica constitui-se de etapas ordenadamente dispostas, como escolha do tema, planejamento da investigação, desenvolvimento do método, coleta e tabulação de dados, análise dos resultados, elaboração das conclusões. Existem diversos tipos de pesquisa científica, e o pesquisador deve escolher aquela que melhor se enquadra nos seus objetivos (FONTELLES et al., 2009).

Segundo Fontelles et al. (2009), os tipos de pesquisa podem ser classificados quanto à finalidade, natureza, forma de abordagem, objetivos, procedimentos técnicos e desenvolvimento no tempo. Seguindo os tipos de pesquisa abordados pelo autor, a pesquisa do presente estudo pode ser classificada como:

- Pesquisa básica ou fundamental: pesquisa que tem por objetivo adquirir novos conhecimentos, sem que haja uma aplicação prática prevista; pode levar a resultados acadêmicos ou aplicados importantes.

- Pesquisa observacional: pesquisa em que o investigador atua como expectador, sem realizar intervenção que possa interferir no desfecho dos fatos.

- Pesquisa qualitativa: busca o entendimento de fenômenos, sem considerar seus aspectos numéricos em termos de regras matemáticas e estatísticas.

- Pesquisa bibliográfica: análise de material já publicado; utilizada para compor a fundamentação teórica.

Dessa forma, a metodologia aplicada a este trabalho busca avaliar a tendência na pesquisa associada com o estudo da minimização da incrustação podendo a pesquisa ser classificada como os tipos citados acima.

2.2.1 Etapas para a construção do trabalho de pesquisa e elaboração do *roadmap*

A metodologia utilizada para a elaboração do trabalho será o “*technology roadmapping*”, gerando um “*roadmap*” para indicar a tendência tecnológica para minimização da incrustação inorgânica de carbonato de cálcio em sistemas de produção e exploração de óleo e gás.

Dessa forma, este tópico apresenta um detalhamento de como as etapas de elaboração do trabalho foram realizadas. Abaixo serão descritas as três fases da metodologia utilizadas e como elas foram realizadas no presente estudo.

Etapa Pré-prospectiva:

É nesta etapa que se constrói o fundamento teórico do ponto a ser estudado. Neste trabalho iremos analisar o setor de óleo e gás, estudando as maneiras de minimização da incrustação inorgânica na indústria petrolífera.

Na etapa pré-prospectiva foram realizadas a identificação do tema, pesquisa preliminar através de levantamento bibliográfico, definição de objetivos e estratégias visando a elaboração do *roadmap*.

A identificação do tema foi realizada devido à grande relevância do problema de incrustação na indústria de produção de petróleo.

Foi realizada uma pesquisa preliminar para embasamento teórico e levantamento de informações sobre o tema incrustação em diversas bases, sites e trabalhos. Para justificar a escolha do tema foi realizada uma busca na base de dados Scopus utilizando algumas palavras chaves (que está especificada no capítulo 1) para demonstrar quantitativamente as publicações realizadas com relação ao tema.

A definição dos objetivos veio a partir da busca preliminar realizada. Verificou-se que a incrustação inorgânica é um problema de grande relevância nos processos de produção de

petróleo e existem algumas maneiras de mitigá-la. A partir daí, foi estabelecido o objetivo de estudar as tendências de minimização da incrustação inorgânica de CaCO_3 nesses processos.

A estratégias para elaboração do *roadmap* foram traçadas com o intuito de identificar como os processos de minimização da incrustação inorgânica de CaCO_3 estão evoluindo, permitindo assim um direcionamento para a pesquisa.

Etapa Prospectiva:

A etapa prospectiva é composta das etapas de pesquisa na base de documentos de patentes concedidas, pesquisa na base de documentos de pedidos de patente (patentes solicitadas), pesquisa na base de artigos científicos e análise dos resultados obtidos nesse levantamento de dados. Os períodos de tempo escolhidos (curto, médio, longo prazo) mostram um panorama de evolução com as patentes concedidas como as principais tecnologias a serem utilizadas no momento; as patentes solicitadas podendo ser utilizadas em um médio espaço de tempo; e os artigos científicos mostram a tendência a longo prazo, já que futuramente podem vir a virar patentes.

Para as etapas de busca de patentes concedidas e solicitadas foi realizada busca na base de dados online *Espacenet* da União Europeia (worldwide.espacenet.com), de forma a delinear um cenário para curto e médio prazo, respectivamente, com base nessas informações. Para a busca nessa base de dados, foi utilizado o seguinte conjunto de palavras: “scaling” and (“scale inhibitor” or “coating” or “magnetic” or “eletromagnetic” or “ultrasonic”) and (“calcium carbonate” or “ CaCO_3 ” or “calcite”). A busca foi realizada nos campos título e resumo. Depois disso, foi realizado um corte manual deixando somente os documentos publicados de 2009 a 2020.

Na etapa de pesquisa na base de artigos científicos foi realizada busca na base de dados online Scopus de forma a delinear um cenário de longo prazo baseado nas fontes de informação. Para a busca nessa base de dados, foi utilizado o seguinte conjunto de palavras: “scaling” and (“scale inhibitor” or “coating” or “magnetic” or “eletromagnetic” or “ultrasonic”) and (“calcium carbonate” or “ CaCO_3 ” or “calcite”). A busca foi realizada utilizando os campos título, resumo e palavras-chaves (“article title, abstract, keywords”). Na busca foram utilizados os seguintes filtros: ano de publicação (2009-2020), área de estudo (energia, engenharia química, química, ciências terrestres e planetárias, engenharia, ciência ambiental e ciência dos materiais) e tipo de documento (artigo e artigo de conferência).

Na etapa de análise dos resultados foi realizada leitura dos documentos encontrados no levantamento feito nas etapas de busca de patentes, pedidos de patentes e artigos. A partir da leitura, as informações extraídas foram analisadas em três níveis: macro, meso e micro.

O detalhamento dos resultados obtidos nessas etapas será acompanhado no capítulo 5, de análise e discussão dos resultados.

Os parâmetros encontrados e utilizados para a proposta das taxonomias foram identificados a partir de análise dos documentos relevantes das etapas de levantamento de informações. A identificação das taxonomias mais relevantes foi feita através da observação dos principais pontos descritos nos documentos, os termos que se repetiam e eram sempre abordados nos trabalhos. Assim, os termos foram identificados como os aspectos de relevância para o objetivo do trabalho em questão.

As taxonomias direcionadas ao trinômio estão apresentadas na Figura 12.

Figura 12 - Taxonomia

MERCADO	APLICAÇÃO EM CONDIÇÕES EXTREMAS	
	AMBIENTALMENTE AMIGÁVEL	
	EFICIENTE	
	AÇÃO MÚLTIPLA	CaCO ₃
		CaCO ₃ + OUTRAS INCRUSTAÇÕES/CORROSÃO
	APLICAÇÃO	GERAL
TRATAMENTO DE FLUIDOS		
RESERVATÓRIOS/POÇO		
DUTOS E EQUIPAMENTOS		
PRODUTO	INIBIDOR QUÍMICO	INIBIDOR CONVENCIONAL
		INIBIDOR VERDE
	REVESTIMENTO	
	DISPOSITIVO FÍSICO	MAGNÉTICO
		ELETROMAGNÉTICO
		ULTRASSOM
TECNOLOGIA	INIBIDOR QUÍMICO	ESTABILIDADE TÉRMICA
		BAIXA DOSAGEM
		COMPATIBILIDADE COM Ca/SALMOURA
		ALTA TAXA DE INIBIÇÃO
		SEM FÓSFORO
		BASE POLIMÉRICA
	REVESTIMENTO	COM FÓSFORO
		REDUÇÃO ENERGIA SUPERFICIAL
		MODIFICAÇÃO NA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE
		RESISTÊNCIA A ALTAS TEMPERATURAS
		FLUOROCOMPOSTO/FLUOROPOLÍMERO
		DLC (Diamond like carbon)
	DISP. FÍSICO	CERÂMICA
		TINTA/EPÓXI
		NOVAS MATÉRIAS PRIMAS
DISP. FÍSICO	MODIFICA O TEMPO DE INDUÇÃO	
	ALTA TAXA DE INIBIÇÃO	
	DIMINUI A TAXA DE DEPOSIÇÃO	

Fonte: O autor, 2020.

Etapa Pós-prospectiva:

A etapa pós-prospectiva é a etapa final do trabalho, que tem por característica a elaboração e análise do *roadmap* e a conclusão.

A elaboração do *roadmap* foi realizada tendo por base os resultados encontrados na fase prospectiva através das taxonomias identificadas. No *roadmap*, cada documento selecionado é representado por linhas. Os documentos selecionados possuíam um ou mais dos parâmetros definidos na taxonomia referentes a análise de mercado, produto e tecnologia, e esses parâmetros foram representados por setas no mapa. Os detalhes de construção estão explicados no capítulo de análise e discussão dos resultados.

Depois de construído o *roadmap*, vem a etapa de análise. Nessa etapa foi realizada uma análise das informações encontradas no *roadmap*, sendo uma leitura e verificação das tendências para o assunto em estudo.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com a metodologia verificada anteriormente para a realização do trabalho, a “Etapa prospectiva” foi destacada como a segunda etapa do estudo. Dessa forma, depois da etapa de levantamento bibliográfico e reunião de dados gerais, criando uma base de conhecimento sobre o tema em estudo, foi realizada a etapa de busca mais restrita, utilizando palavras-chave para a seleção de documentos relevantes.

Esse capítulo apresenta os resultados obtidos através das análises dos documentos encontrados nas bases de dados. Para elaboração do *roadmap* referente ao tema do trabalho, os seguintes indicadores foram escolhidos: documentos de patentes concedidas na base de dados *Espacenet* (curto prazo); documentos de patentes solicitadas na base de dados *Espacenet* (médio prazo) e artigos científicos publicados na base de dados SCOPUS (longo prazo). Os resultados obtidos para cada tipo de documento são separados em análise Macro, Meso e Micro.

Com base na análise pré-prospectiva e nos resultados que foram obtidos durante a etapa prospectiva foram separadas algumas taxonomias (grupos de classificação). Como apresentado anteriormente, as taxonomias foram separadas de acordo com o trinômio mercado, produto e tecnologia. Depois de definida a taxonomia foi realizada uma análise de tendências dos documentos selecionados na busca.

Como abordado anteriormente, no capítulo de revisão bibliográfica, existem algumas maneiras para tentar prevenir/mitigar a formação de incrustação de CaCO_3 . Neste trabalho serão abordados alguns tipos de métodos de inibição, como: utilização de inibidores químicos, revestimentos de superfície e dispositivos físicos.

3.1 Estágio atual

Foram realizadas algumas pesquisas no âmbito atual do problema de incrustação e do que se tem comercialmente como formas de prevenção e minimização desse problema. De acordo com o que foi observado durante a revisão bibliográfica, existem alguns métodos utilizados e estudados com o objetivo de remediar o inconveniente problema de incrustação.

Como exemplos desses métodos, pode-se citar a aplicação de inibidores químicos, revestimentos de superfície, entre outros.

Dessa forma, foi realizada uma busca geral na internet com o objetivo de verificar o que as empresas estão oferecendo comercialmente na atualidade. As buscas foram realizadas utilizando palavras como “incrustação”, “inibidor de incrustação”, “revestimento anti-incrustante”, “dispositivos anti-incrustantes”; e dessa forma, chegou-se a empresas e os produtos que elas comercializam. Através dos websites das empresas foi possível verificar algumas informações de produto, composição geral e atuação.

Existem inibidores químicos comerciais com composição bem madura, consolidada e com eficiência comprovada. Na Tabela 7 são apresentados alguns exemplos de inibidores químicos comerciais que estão disponíveis no mercado para a prevenção e/ou mitigação dos depósitos de incrustação inorgânica.

Tabela 7 - Exemplos de inibidores químicos comerciais disponíveis no mercado.

ORIGEM DA EMPRESA	COMPOSIÇÃO	ATUAÇÃO
Brasileira	-	Inibidores de sais de cálcio, bário e estrôncio
Brasileira	-	Atuação mediante mecanismos de quelação e distorção de cristais, evitando a formação de incrustações.
Brasileira	-	Inibidores de incrustação de carbonato de cálcio, carbonato de bário, sulfato de bário. Inibidores de incrustação de depósitos multi cristais (cálcio, bário, estrôncio, associado com carbonatos e sulfatos).
Americana	Polímeros	Carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, magnésio e silicato.
	Polímeros	Incrustações inorgânicas duras de carbonato de cálcio, oxalato de cálcio, sulfato de cálcio e sulfato de bário.
	Polímeros	Constituem uma família de produtos exclusivos que controlam efetivamente a formação de incrustação mineral e incrustações inorgânicas duras, como carbonato de cálcio, sulfato de cálcio e fosfato de magnésio.
Americana	Ésteres de fosfato	-
	Fosfonatos	
	Polímeros	
Americana	Fosfonato	Efetivo controle de incrustações de carbonato de cálcio, sulfato de bário e sulfato de cálcio
Europeia	Fosfonatos, polímeros	Controle de carbonatos e sulfatos (cálcio e magnésio)
	Polímeros	Carbonato e sulfato de cálcio

Fonte: AGENA, 2020; BAKER HUGHES, 2018; INOPETRO, 2020; ITALMATCH CHEMICALS, 2020; PETROLAB, 2020; SOLENIS, 2020.

Os inibidores de uma das empresas de origem americana reúnem diversos mecanismos de controle de incrustação para reduzir significativamente seu potencial de deposição. Para evitar a formação inicial de incrustações, os inibidores aglutinam pequenos cristais formadores de incrustação na solução para que não se fixem e não formem incrustações nas superfícies das tubulações e equipamentos. Com o objetivo de desacelerar e minimizar a formação de incrustações, os inibidores modificam as superfícies dos cristais existentes para que novas camadas não se formem. Para qualquer incrustação que se formar, os inibidores modificam sua estrutura cristalina, tornando-a de mais fácil remoção (SOLENIS, 2020).

O inibidor de incrustação de outra empresa americana inibe a formação de incrustações por meio de distorção do cristal e mecanismos de inibição de limiar, em que os inibidores modificam as superfícies dos cristais existentes para que novas camadas de cristais não se formem. É recomendado para incrustações de sulfato e carbonato, porém também funciona como um ¹quelante de ferro. O produto foi projetado para exibir boa tolerância à dureza em salmouras, sendo completamente solúvel em altas e baixas concentrações nas salmouras de campos petrolíferos. Para a utilização do produto deve-se ficar atento ao tipo de material das tubulações e equipamentos, pois ele é adequado para diversos materiais, mas seu uso não é apropriado em materiais de alumínio e aço carbono. As taxas de dosagem podem ser de 10-50 ppm para inibição da incrustação de carbonato de cálcio e sulfato de cálcio, sendo essa faixa dependente da gravidade do problema e das características da água (BAKER HUGHES, 2018).

Os inibidores de incrustação de outra empresa americana ajudam na prevenção de depósitos de incrustação em poços e linhas de fluxo, ajudando na maximização do volume de produção e reduzindo o tempo de inatividade. Eles modificam o crescimento do cristal, retardando e prevenindo a formação de incrustações. São baseados em três tipos de compostos: ésteres de fosfato, fosfonatos e polímeros. Em grande parte das aplicações, baixas taxas de dosagem de formulações concentradas dos inibidores tratam de forma efetiva o problema dos depósitos de incrustação. Em condições mais severas de incrustação, as taxas de dosagem podem ser aumentadas conforme necessário.

Um dos produtos da empresa europeia pode ser usado como inibidor, dispersante e quelante em aplicações de tratamento de água de resfriamento e de tratamento de águas

¹ Quelantes: tem como finalidade a formação de quelatos, ou seja, formar complexos hidrossolúveis, onde íon metálico é envolvido por ligações covalentes do agente quelante. O nome quelante provém da palavra grega “khele”, que significa garra ou pinça, se referindo à forma como os íons metálicos são “aprisionados” no composto. Por tanto o agente quelante é o que retém o íon metálico em dois ou mais pontos da molécula.

residuais. A linha de produtos conta com formulações de fosfonatos e polímeros. Além disso, conta também com derivados de inulina, que foram projetados para um melhor perfil ambiental e toxicológico. São inibidores de incrustação com ²inibição de limiar extremamente eficazes, podendo ser usados sozinhos ou em combinação para controlar cálcio, magnésio, carbonatos e sulfatos. São também dispersantes bastante eficazes, ajudando a prevenir a incrustação. Podem ser usados como inibidores em caldeiras, estações de tratamento de águas residuais e tubos de efluentes (ITALMATCH CHEMICALS, 2020).

Outro produto, comercializado pela mesma empresa, é um inibidor e dispersante que controla formação de sais de carbonato e sulfato de cálcio. O produto dispersa e suspende o material particulado insolúvel. Pode ser utilizado em caldeiras, água de resfriamento e em outros processos industriais com água (ITALMATCH CHEMICALS, 2020).

Além dos inibidores químicos, também podemos encontrar alguns tipos de revestimentos comerciais disponíveis no mercado e que podem ser utilizados na prevenção ou mitigação de depósitos de incrustação. A Tabela 8 mostra alguns exemplos desses revestimentos disponíveis.

² “O inibidor de incrustação tem também uma atuação preventiva, que evita o surgimento de novas sedimentações ao alterar a superfície destes cristais, na chamada inibição limiar. O Efeito Limiar de Inibição trata-se da extensão da solubilidade de um sal outrora insolúvel, ultrapassando seu limite de saturação e usando um aditivo em nível sub-estequiométrico. Este conceito de funcionalidade subestequiométrica é muito importante e é o que diferencia aditivos de polímeros e fosfonatos de materiais com funções que atuam estritamente em condições estequiométricas, como EDTA, por exemplo. Além disso, dentre outros aspectos chave acerca da inibição “threshold”, um deles é que se trata de um efeito variável ao longo do tempo. Por exemplo, a água sem dispersante leva 60 segundos para começar a precipitar carbonato de cálcio sob determinadas condições (pH, temperatura, concentração de cálcio, etc) e a mesma água, uma vez tratada, estende este tempo para uma hora, então a inibição ocorreu com relação ao tempo. Neste caso, a extensão e duração do Efeito Limiar de Inibiçã ocorreu com relação ao tempo, mas pode estar relacionado com diversos fatores: forças motrizes de precipitação; eficácia particular do inibidor selecionado; outras impurezas da água; taxa de evaporação; frequência de dosagem do dispersante.” (AQUINO, 2018)

Tabela 8 - Exemplos de revestimentos comerciais disponíveis no mercado.

ORIGEM DA EMPRESA	COMPOSIÇÃO DO REVESTIMENTO
Reino Unido	Cerâmico (Cr_2O_3)
	Polímero
Canadá	DLC
Estados Unidos	Base de carbono
Estados Unidos	Epóxi + polímero
Alemanha	DLC + TiN/CrN/AlCrN
Estados Unidos	Epóxi + cerâmico
Brasil	Fluorpolímero
	Epóxi modificado

Fonte: BODYCOTE METALLURGICAL, 2020; NEI CORPORATION, 2020; NOVA COATING, 2020; OERLIKON BLAZERS, 2020; SHAWCOR, 2020; NOV, 2020.

O produto da empresa americana (canadense) é um revestimento interno semelhante ao diamante (DLC, Diamond-like- carbon); é hidrofóbico e ultrafino. O produto foi projetado com o objetivo de reduzir ou possivelmente eliminar a deposição de incrustações, asfaltenos e cera em superfícies tubulares. O revestimento é ligado ao substrato por meio de um processo de deposição de plasma. Os revestimentos dessa linha são compatíveis com a maioria dos produtos químicos encontrados na completação, estimulação e produção em poços de petróleo. Para temperaturas muito altas e operações de longa duração com algumas salmouras, podem ser necessários testes adicionais (SHAWCOR, 2020).

A eficácia do produto foi avaliada para incrustações de carbonato de cálcio e sulfato de bário. Para incrustações de carbonato de cálcio foram realizados testes com eletrodo de cilindro rotativo (RCE) em amostras revestidas, que geraram redução de até 100% na massa dos depósitos incrustantes. Para incrustações de sulfato de bário foram realizados testes em um loop de fluxo de incrustação. Os depósitos de sulfato de bário formados nos tubos revestidos aderiram com menor força e foram facilmente removidos, comparados aos depósitos em tubos não revestidos, que não puderam ser removidos da mesma maneira (SHAWCOR, 2020).

Na busca por produtos e métodos comerciais disponíveis no mercado para a minimização da incrustação, foi encontrado também um sistema eletrônico anti-incrustação que é uma tecnologia alemã (CHRISTIANI WASSERTECHNIK GMBH, 2020). É uma tecnologia que protege os tubos e equipamentos contra incrustação e ferrugem. O método é baseado na *Vulcan-Impulse-Technology*, que trata a água sem a aplicação de nenhum produto químico ou sais. Com essa tecnologia, impulsos elétricos especiais alteram o processo de

cristalização do cálcio na ³água dura, modificando a estrutura dos cristais, e fazem com que as partículas percam a capacidade de aderir nas superfícies. O sistema não necessita ter contato direto com a água e é instalado externamente à tubulação; trata a água com impulsos elétricos que são gerados na unidade eletrônica e controlados por um microchip computadorizado. A frequência do sinal é transmitida através das fitas de impulso que são enroladas em torno dos tubos. Existem diversas linhas de produto, podendo solucionar problemas em uso residencial, comercial e ambientes industriais (CHRISTIANI WASSERTECHNIK GMBH, 2020).

3.2 Curto Prazo – Patentes concedidas

A patente é uma forma de proteção, que garante ao seu titular a exclusividade temporária de explorar comercialmente a sua criação, podendo recuperar o investimento inicial em pesquisa e desenvolvimento. Em troca dessa exclusividade, deve ser disponibilizado o acesso ao público sobre a invenção.

Dessa forma, as patentes são uma boa ferramenta de tendências tecnológicas, já que possuem uma informação técnica confiável, e podem ainda ser consideradas como a primeira evidência de um novo produto ou processo oriundo de pesquisa e desenvolvimento. Assim, o número de patentes já concedidas pode ser considerado um indicativo de inovação e desenvolvimento tecnológico de um país (QUONIAM, L.; KNIES, C.; MAZIERI, 2014).

Esse tópico apresenta os resultados que foram obtidos na busca de patentes concedidas relacionados ao tema de estudo deste trabalho, ou seja, minimização da incrustação inorgânica de CaCO₃ em sistemas de produção e exploração de petróleo.

3.2.1 Seleção dos documentos

³ A dureza da água é medida geralmente com base na quantidade de partes por milhão (geralmente representado por ppm) de Carbonato de Cálcio (cujá fórmula química é CaCO₃) também representada como mg/l de Cálcio (ou seja, a quantidade de Cálcio em miligramas que existe em cada litro de água). Quanto maior a quantidade em “ppm”, mais “dura” será considerada a água.

Depois de escolhida a base de dados foi realizada uma estratégia de busca, determinando as palavras-chave utilizadas, o campo de busca e o corte temporal. Os critérios adotados para a busca de patentes concedidas na base de dados Espacenet foram os seguintes:

- (i) Palavras chaves: “*scaling*” and (“*scale inhibitor*” or “*coating*” or “*magnetic*” or “*electromagnetic*” or “*ultrasonic*”) and (“*calcium carbonate*” or “*CaCO₃*” or “*calcite*”)
- (ii) Campo de busca: Título e Resumo (*title or abstract*)
- (iii) Ano de publicação: 2009 – 2020

Cabe ressaltar que o Espacenet só permite buscas no título e/ou resumo. Além disso, o banco de dados gratuito do escritório europeu (Espacenet), não permite a pesquisa em duas plataformas diferentes de busca: patentes e pedidos de patentes. Para verificar a concessão ou não do documento, deve-se olhar a capa do documento de patente. Geralmente as patentes possuem a designação B ou C após sua numeração, sendo possível diferenciar as patentes concedidas das patentes solicitadas.

Através dessa busca de patentes concedidas foi observado um total de 14 patentes, sendo apenas 7 consideradas relevantes. Para a escolha dos documentos considerados relevantes, foram retiradas as patentes que não tinham uma relação específica com o sistema de óleo e gás. Foram retiradas patentes com aplicação em tratamento de esgoto, sistemas de água de resfriamento, tratamento de água de caldeira, tratamento de superfície relacionado somente a decoração, entre outros. As patentes concedidas, assim como as solicitadas que serão citadas posteriormente, estão listadas na Tabela 12, no Anexo A.

3.2.2 Análise Macro

De forma a analisar as patentes concedidas foram utilizados os 7 documentos considerados relevantes.

Analisando a data de publicação e concessão dos documentos pode-se observar que no período de 2014 até 2020, foram concedidas 3 patentes no ano de 2015, nenhuma patente no

ano de 2017 e 2018; e 1 patente ao ano nos demais. Percebe-se uma quantidade pequena de documentos de patentes encontrados com relação a este tema.

Com relação à distribuição de patentes concedidas por país de origem, observa-se que apenas dois países estão na lista, com a China sendo responsável por 4 patentes e os Estados Unidos por 3.

Referente aos detentores das tecnologias, a Tabela 9 apresenta quem são os representantes e responsáveis pelas patentes concedidas analisadas.

Tabela 9 - Detentores das tecnologias.

APPLICANT	Nº DOCUMENTOS
PETROCHINA CO LTD	1
MCGUIRE DENNIS	1
JAKHETE SANJEEV	1
ECOSPHERE TECHNOLOGIES INC	1
CNPC CHUANQING DRILLING ENG COMPANY LTD ENG TECH RES INST	1
GONZALEZ DAVILA VICENTE	1
SUAREZ DOMINGUEZ EDGARDO JONATHAN	1
GEO ESTRATOS S A DE C V	1
ZENGAN MING	1
HUZHOU XINHE ENVIRONMENT SCIENCE & TECHNOLOGY CO LTD	1

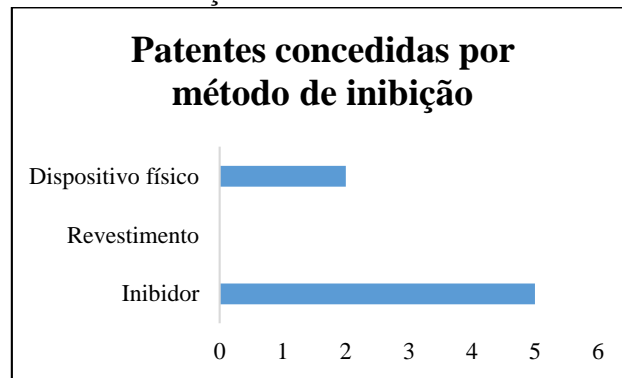
Fonte: O autor, 2021.

3.2.3 Análise Meso

Depois de definidas as taxonomias foi realizada análise das tendências das 7 patentes relevantes selecionadas.

A Figura 13 apresenta a quantidade de patentes concedidas por método de inibição de incrustação. Pode-se observar que o maior número de patentes está voltado para utilização de inibidores químicos como tecnologia de inibição. Observa-se também que, com os critérios de busca utilizados, não foi encontrada patente relevante referente ao método de inibição de incrustação de CaCO_3 através de revestimento de superfície.

Figura 13 - Quantidade de patentes concedidas por método de inibição.



Fonte: O autor, 2021.

3.2.4 Análise Micro

Um dos temas abordados na taxonomia foi o método de inibição utilizado. Como já citado anteriormente foram abordadas algumas maneiras de minimização/mitigação da incrustação inorgânica de CaCO_3 , como a utilização de inibidores químicos, revestimentos superficiais e alguns dispositivos físicos. Como já citado, através da metodologia de busca utilizada, foram encontradas 5 patentes que abordam a utilização de inibidores químicos, 2 patentes que abordam a utilização de dispositivo físico e nenhuma patente abordando a utilização de revestimento de superfície.

Na análise de produto podemos ainda subdividir esses métodos de inibição, especificando-os um pouco mais. Na metodologia de minimização da incrustação através de inibidores químicos podem ser utilizados inibidores convencionas, melhorando apenas sua eficiência e reformulando com outros produtos, ou podem ser utilizados os chamados inibidores verdes, que são chamados assim por serem amigáveis ambientalmente. Dentre as 5 patentes dentro do tema inibidores químicos, foi possível observar 1 patente referente a utilização de inibidor verde e 4 patentes que utilizam inibidores convencionais. Com relação à utilização de dispositivos físicos, os dispositivos buscados foram magnéticos, eletromagnéticos e ultrassônicos. As 2 patentes concedidas que abordam essa metodologia para mitigação, abordam o dispositivo ultrassônico, não sendo encontradas patentes concedidas abordando dispositivos magnéticos e eletromagnéticos.

Na análise de mercado as taxonomias separadas foram as seguintes: aplicação em condições extremas, ambientalmente amigável, eficiente, ação múltipla (CaCO_3 ou CaCO_3 + outras incrustações/corrosão) e aplicação (geral, tratamento de fluidos, reservatórios/poço, dutos e equipamentos).

Com relação a aplicação podemos encontrar 4 patentes que fazem referência a aplicação em tratamento de fluidos, como água residual, fluidos produzidos, água de refluxo, água de injeção, entre outros. Além disso observa-se uma patente que faz referência a aplicação em reservatórios, que tem por objetivo a remoção de incrustação em zonas próximas ao poço/reservatório, podendo aumentar o rendimento de um poço e reduzir a pressão de injeção. Foi encontrada também uma patente com o objetivo de inibição de incrustação em oleodutos e uma patente que não faz referência a uma aplicação específica, e sim de forma geral.

Com relação à ação múltipla, podemos encontrar produtos e tecnologias que podem ter ação somente para evitar CaCO_3 , mas também podemos encontrar outros com ação em mais de um tipo de incrustação ou até com ação para evitar corrosão. Todas as patentes encontradas possuem ação múltipla. De forma geral, fazem referência a incrustações de carbonato de cálcio, fosfato de cálcio, sulfato de cálcio, sulfato de bário, sulfato de estrôncio, sulfeto de ferro, carbonato de magnésio, carbonato de bário. Observa-se também duas patentes sobre inibidor químico que pode inibir incrustação e corrosão.

Com relação ao impacto ambiental da metodologia de inibição utilizada foram observadas 3 patentes que podem ser classificadas como ambientalmente amigáveis. Uma delas faz referência ao uso de inibidor verde, que não contém fósforo, não poluindo o meio ambiente. As outras duas são patentes que fazem uso de dispositivos ultrassônicos, não gerando resíduos ao meio ambiente, podendo também ser classificadas como ambientalmente amigáveis.

O uso de dispositivo físico ultrassônico pode ter impacto econômico, já que a tendência de incrustação de CaCO_3 é reduzida a um nível aceitável sem o uso de ácidos, materiais de troca iônica ou produtos químicos.

Dentre as patentes encontradas podemos observar produtos anti-incrustantes com alta eficácia, resultando numa redução significativa da taxa de produção de incrustação.

Na análise de tecnologia, a metodologia de inibição através de inibidores químicos foi subdividida em alguns pontos importantes, como: estabilidade térmica, baixa dosagem, compatibilidade com Ca/Salmoura, alta taxa de inibição, sem fósforo, base polimérica, com

fósforo. Como não foram encontradas patentes referentes ao uso de revestimentos de superfície, esse tópico não será abordado aqui. Com relação a metodologia que utiliza dispositivos físicos a subdivisão da taxonomia foi feita da seguinte forma: modifica o tempo de indução, alta taxa de inibição, diminui a taxa de deposição.

Nas patentes que abordam inibidores químicos pode-se encontrar uma patente que apresenta inibidor de base polimérica, sem fósforo (ácido poliaspártico). Pode-se encontrar também uma patente que apresenta inibidor com uma mistura de polímeros e substâncias que contém fósforo (ácido hidroxietilideno-1,1-difosfônico, um copolímero de ácido acrílico-2-acrilamida-2-metilpropanossulfônico, ácido poliaspártico (sódio) e ácido poliacrílico). Encontra-se também outra patente que apresenta inibidor sem fósforo, com uma mistura de matérias primas na sua composição (ácido aspártico + ácido epóxissuccínico + N-metilimidazol + isoocatoato de zinco + diluente), com excelente desempenho anti-incrustação e com aplicação de baixa dosagem. Encontra-se ainda uma patente que apresenta inibidor com base polimérica e com fósforo. Algumas patentes não mostram características tão específicas, mas podemos observar produtos de alta taxa de inibição e de pequenas dosagens. Com relação as patentes que abordam os dispositivos físicos ultrassônicos observam-se produtos com boa taxa de inibição, diminuindo a taxa de deposição.

3.3 Médio Prazo – Patentes solicitadas

Antes de serem concedidas, as patentes devem ser solicitadas. O pedido de patente é uma expectativa do direito de patente, que concede ao titular o direito sobre a invenção. Assim como a patente, o pedido de patente também é um produto de pesquisa e desenvolvimento, e pode ser considerado um bom indicativo do nível de inovação e do andamento do desenvolvimento tecnológico de um país.

Esse tópico apresenta os resultados que foram obtidos na busca de patentes solicitadas relacionadas ao tema de estudo deste trabalho, ou seja, minimização da incrustação inorgânica de CaCO_3 em sistemas de produção e exploração de petróleo.

3.3.1 Seleção dos documentos

A seleção dos documentos de patentes solicitadas foi feita da mesma forma que para as patentes concedidas. Geralmente os pedidos de patentes (patentes solicitadas) possuem a designação A após sua numeração, sendo possível diferenciar as patentes concedidas das patentes solicitadas.

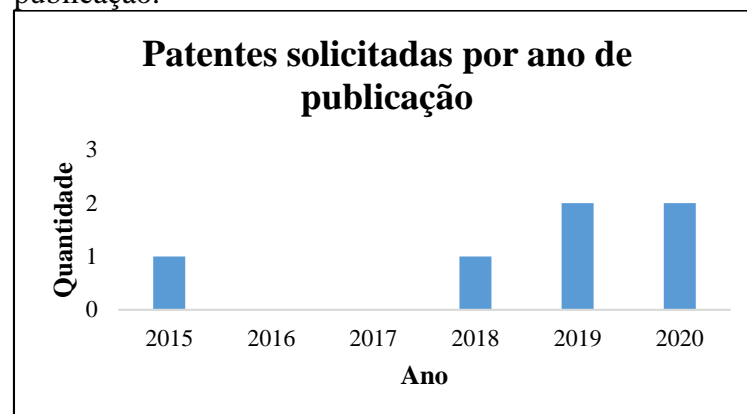
Através dessa busca foi observado um total de 23 patentes solicitadas, excluindo-se as já consideradas como concedidas, sendo apenas 6 consideradas relevantes. Para a escolha dos documentos considerados relevantes, foram retiradas as patentes que não tinham uma relação específica com o sistema de óleo e gás. Foram retiradas patentes com aplicação em tratamento de esgoto, sistemas de água de resfriamento, tratamento de água de caldeira, tratamento de superfície relacionado somente a decoração, entre outros.

3.3.2 Análise Macro

De forma a analisar as patentes solicitadas foram utilizados os 6 documentos considerados relevantes.

A evolução dos documentos selecionados no período de tempo determinado (2009-2020) é apresentada na Figura 14, que apresenta os documentos por data de publicação. Assim como anteriormente, percebe-se uma quantidade pequena de documentos de patentes encontrados com relação a este tema.

Figura 14 - Quantidade de patentes solicitadas por ano de publicação.



Fonte: O autor, 2021.

Com relação à distribuição de patentes solicitadas por país de origem, verifica-se que a China é a responsável pelos seis documentos encontrados. Referente aos detentores das tecnologias, a Tabela 10 apresenta quem são os representantes e responsáveis pelas patentes solicitadas analisadas.

Tabela 10 - Detentores da tecnologia.

APPLICANT	Nº DOCUMENTOS
PETROCHINA CO LTD	3
WANG GESHENG	1
SHAANXI RES DESIGN INST PETROLEUM CHEMICAL IND	1
UNIV CHENGDU TECHNOLOGY	1

Fonte: O autor, 2021.

3.3.3 Análise Meso

Depois de definidas as taxonomias foi realizada análise das tendências das 6 patentes relevantes selecionadas.

Dentre as patentes solicitadas analisadas, verifica-se que todas estão voltadas para a utilização de inibidores químicos como tecnologia de inibição, não sendo encontrada patente relevante referente ao método de inibição de incrustação de CaCO_3 através de revestimento de superfície. Os documentos encontrados que fazem referência a dispositivos físicos já foram contabilizados no tópico de patentes concedidas.

3.3.4 Análise Micro

Como citado no tópico anterior, através da metodologia de busca utilizada, foram encontradas 6 patentes que abordam a utilização de inibidores químicos e nenhuma patente abordando a utilização de revestimento de superfície e dispositivos físicos.

Na análise de produto podemos ainda subdividir esses métodos de inibição, especificando-os um pouco mais. Na metodologia de minimização da incrustação através de

inibidores químicos podem ser utilizados inibidores convencionas, melhorando apenas sua eficiência e reformulando com outros produtos, ou podem ser utilizados os chamados inibidores verdes, que são chamados assim por serem amigáveis ambientalmente. Dentre as 6 patentes dentro do tema inibidores químicos, foi possível observar 2 patentes referente a utilização de inibidor verde e 4 patentes que utilizam inibidores convencionais.

Na análise de mercado as taxonomias separadas foram as seguintes: aplicação em condições extremas, ambientalmente amigável, eficiente, ação múltipla (CaCO_3 ou CaCO_3 + outros tipos de incrustações/corrosão) e aplicação (geral, tratamento de fluidos, reservatórios/poço, dutos e equipamentos).

Com relação a aplicação podemos encontrar 1 patente que faz referência a aplicação em tratamento de fluidos, como águas residuais na indústria do petróleo, fluidos produzidos, água de injeção, entre outros. Além disso observam-se 2 patentes que fazem referência a aplicação em reservatórios e poços. Foram encontradas 3 patentes com aplicação geral na indústria do petróleo, não especificando um segmento específico.

Com relação à ação múltipla, podemos encontrar produtos e tecnologias que podem ter ação somente para evitar CaCO_3 , mas também podemos encontrar outros com ação em mais de um tipo de incrustação ou até com ação contra corrosão. Uma das patentes encontradas possui ação somente contra incrustação de CaCO_3 . Observa-se também 2 patentes sobre inibidor químico que pode inibir incrustação de CaCO_3 e corrosão. As outras 3 patentes encontradas possuem ação múltipla para evitar vários tipos de incrustação. De forma geral, fazem referência a incrustações de carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, sulfato de bário, silicato, fosfato de cálcio.

Com relação ao impacto ambiental da metodologia de inibição utilizada foram observadas 2 patentes que podem ser classificadas como ambientalmente amigáveis. Os documentos fazem referência ao uso de inibidor verde, que não contém fósforo, não poluindo o meio ambiente.

Dentre as patentes encontradas podemos observar produtos anti-incrustantes eficientes, resultando numa redução significativa da taxa de produção de incrustação.

Na análise de tecnologia, a metodologia de inibição através de inibidores químicos foi subdividida em alguns pontos importantes, como: estabilidade térmica, baixa dosagem, compatibilidade com Ca/Salmoura, alta taxa de inibição, sem fósforo, base polimérica, com fósforo. Como não foram encontradas patentes referentes ao uso de revestimentos de superfície e dispositivos físicos, esse tópico não será abordado aqui.

Nas patentes que abordam inibidores químicos, podem-se encontrar três patentes que apresentam inibidor sem fósforo. Um deles possui base polimérica com uma mistura de polímeros em sua composição, o outro possui uma mistura de ácidos e um possui ácido poliaspártico como matéria prima. Pode-se observar patentes que apresentam inibidor químico com boa estabilidade térmica, alta taxa de inibição e baixa dosagem. Algumas patentes não mostram características tão específicas, mas podemos observar produtos com resistência a temperatura, boa compatibilidade com cálcio.

3.4 Longo Prazo – Artigos científicos

A publicação de artigos científicos em periódicos é uma importante fonte de informações científicas e tecnológicas, sendo um produto da atividade intelectual de pesquisadores. A publicação de artigos científicos favorece a disseminação do conhecimento proveniente do meio científico, além de servir como literatura-base para validar pesquisas já existentes e influenciar novos estudos (BORSCHIVER; SILVA, 2016).

Dessa forma, a análise de artigos científicos permite verificar um panorama sobre como o tema está sendo abordado em âmbito mundial, podendo contribuir para um direcionamento estratégico das linhas de pesquisa.

Esse tópico apresenta os resultados que foram obtidos na busca de artigos científicos relacionados ao tema de estudo deste trabalho, ou seja, minimização da incrustação inorgânica de CaCO_3 em sistemas de produção e exploração de petróleo.

3.4.1 Seleção dos documentos

Depois de escolhida a base de dados foi realizada uma estratégia de busca, determinando as palavras-chave utilizadas, o campo de busca e o corte temporal. Os critérios de busca adotados na base Scopus foram os seguintes:

- (i) Palavras chaves: “*scaling*” and (“*scale inhibitor*” or “*coating*” or “*magnetic*” or “*electromagnetic*” or “*ultrasonic*”) and (“*calcium carbonate*” or “*CaCO₃*” or “*calcite*”)
- (ii) Campo de busca: título, resumo e palavras-chaves (*title, abstract, keywords*)
- (iii) Ano de publicação: 2009 – 2020
- (iv) Área de estudo: energia, engenharia química, química, ciências terrestres e planetárias, engenharia, ciência ambiental e ciência dos materiais.
- (v) Tipo de documento: artigo e artigo de conferência (“*Article*” / “*Conference paper*”)

Através dessa busca recuperou-se um total de 233 artigos, sendo 112 considerados relevantes para a pesquisa. Para a seleção dos artigos relevantes foi realizada uma análise do total de artigos encontrados. Foram retirados artigos que, apesar de falarem de incrustação, não mencionavam o tratamento e prevenção da mesma ou que falavam sobre isso de forma superficial, como artigos que estudam de fato a formação da incrustação, cinética e programas para previsão de incrustação. Além disso também foram retirados artigos que falam sobre assuntos muito específicos, como os que tem aplicação em sistemas de circulação de água de resfriamento, superfícies de troca de calor, membranas de osmose reversa, caldeiras e tratamento de água que não esteja relacionado diretamente à produção de óleo e gás. Dessa forma somente foram selecionados os artigos que faziam alguma referência à indústria de óleo e gás ou artigos que falavam do assunto de forma geral, com aplicação geral, industrial etc. Os artigos relevantes encontrados na busca estão listados na Tabela 13, no Anexo B.

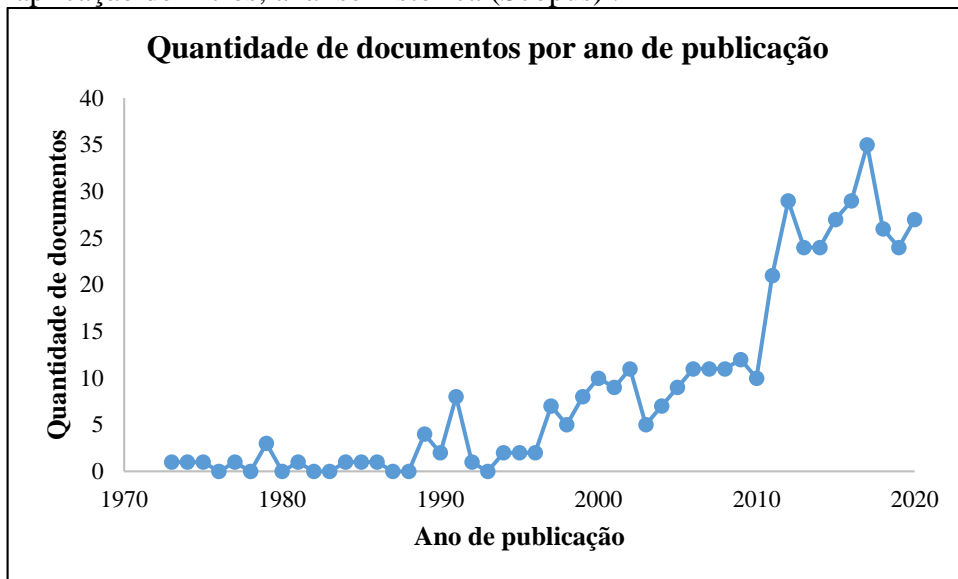
3.4.2 Análise Macro

Para fazer uma análise histórica foi feita uma busca com as palavras chaves citadas anteriormente, sem levar em consideração todos os filtros utilizados na busca de artigos relevantes, utilizando somente o campo de busca título, resumo e palavras chaves. A Figura 15 apresenta os resultados dessa busca, mostrando que as publicações referentes às palavras chaves utilizadas começaram a aparecer na década de 70, com aumento a partir da década de 90.

Para todas as outras análises foram utilizados somente os documentos considerados relevantes, em que a busca foi realizada com todos os filtros citados anteriormente.

De forma geral, utilizando os critérios de busca mencionados no item de seleção dos documentos (5.4.1), foram encontrados um total de 233 documentos, sendo 112 considerados relevantes.

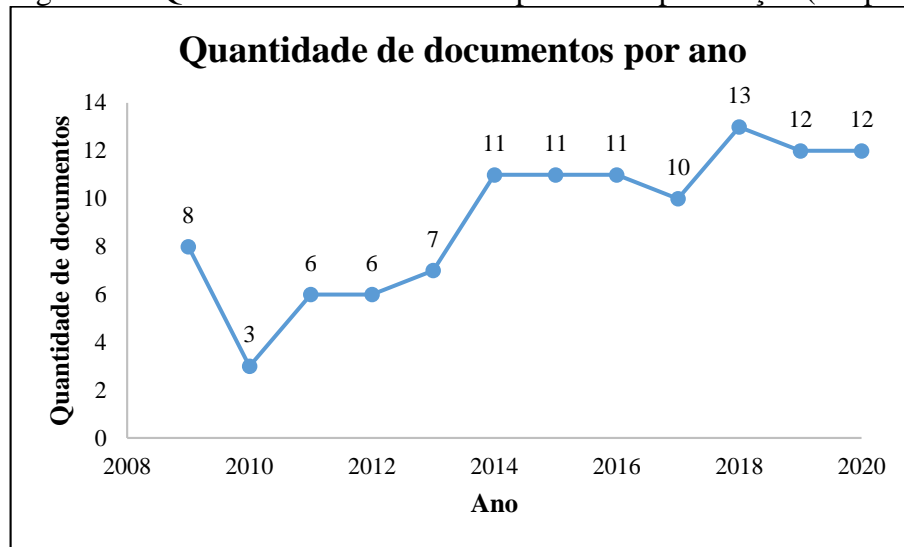
Figura 15 - Quantidade de documentos por ano de publicação sem aplicação de filtros, análise histórica (Scopus) .



Fonte: O autor, 2021.

A Figura 16 mostra a evolução dos artigos publicados que estão relacionados ao assunto do trabalho, dentro do período selecionado (2009-2020). Através do gráfico é possível observar alguns picos, mostrando um aumento de publicações de 2010 a 2014. A partir de 2014 percebe-se uma estabilidade, com crescimento novamente em 2018.

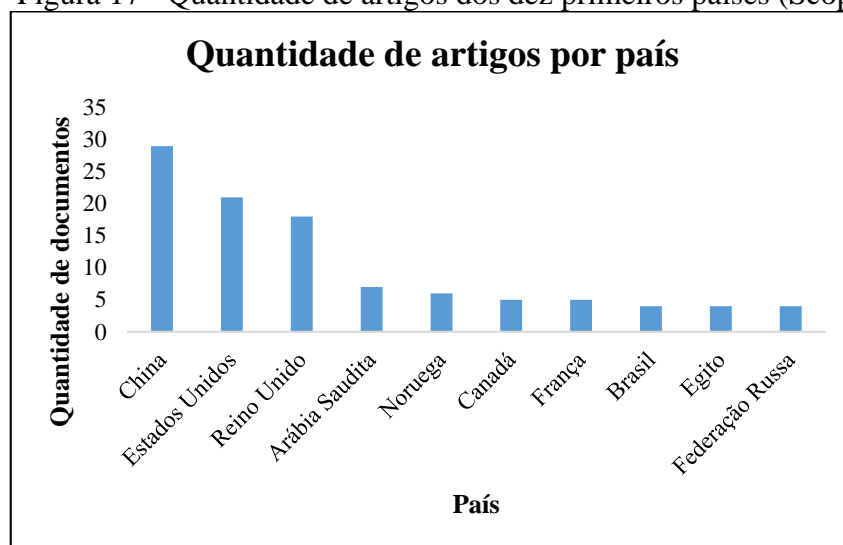
Figura 16 - Quantidade de documentos por ano de publicação (Scopus).



Fonte: O autor, 2021.

A Figura 17 mostra a quantidade de documentos dos dez primeiros países que aparecem na Scopus. Levando em consideração os países das instituições presentes nessas pesquisas, ganham destaque os seguintes países: China, com 29 artigos publicados, seguida dos Estados Unidos, com 21 artigos e do Reino Unido, com 18. O Brasil também se encontra nessa lista, porém com uma quantidade um pouco menor do que os citados, tendo apenas 4 artigos.

Figura 17 - Quantidade de artigos dos dez primeiros países (Scopus).

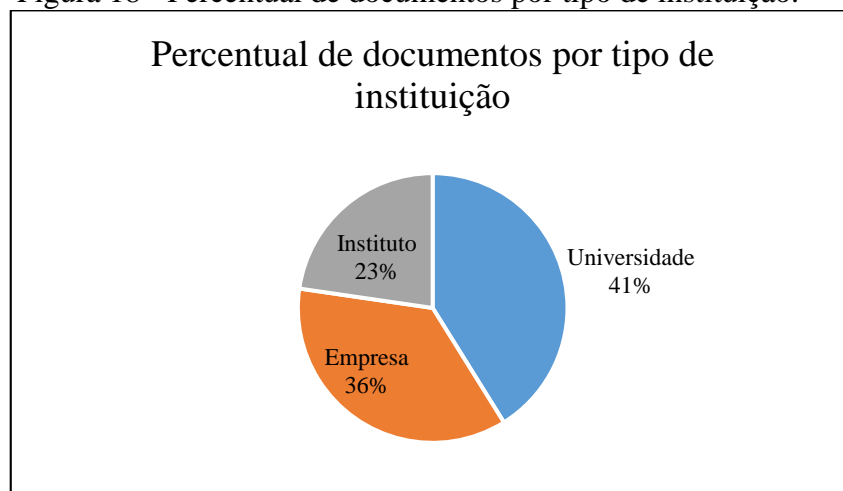


Fonte: O autor, 2021.

A Figura 18 apresenta a quantidade em percentual de documentos relevantes encontrados por tipo de instituição dos pesquisadores através da base SCOPUS.

Através da figura percebe-se que o maior percentual está nas Universidades (58 documentos), seguido pelas Empresas (51 documentos) e pelos Institutos (32 documentos). O total de documentos excede o número de documentos relevantes (112) devido a possibilidade de ocorrência de parcerias entre empresas, universidades e institutos.

Figura 18 - Percentual de documentos por tipo de instituição.



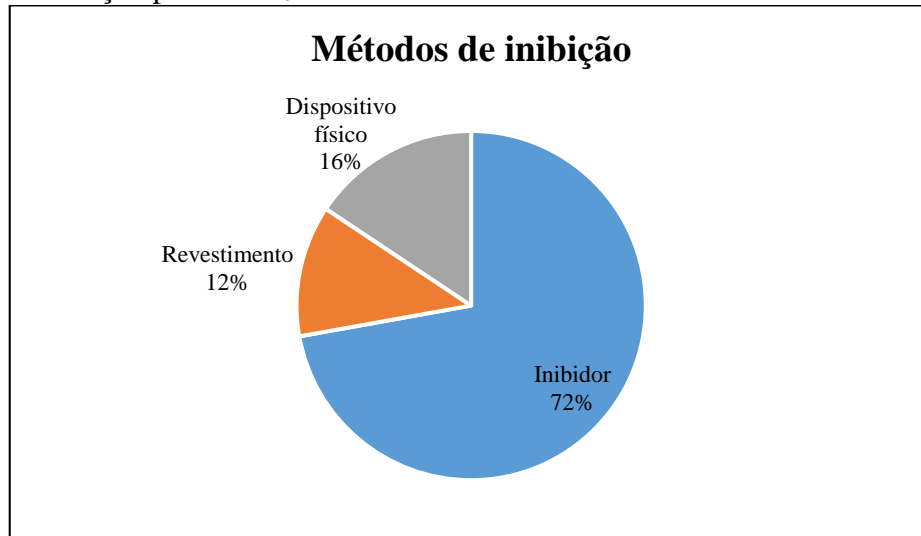
Fonte: O autor, 2021.

3.4.3 Análise Meso

Depois de definidas as taxonomias foi realizada análise das tendências dos 112 artigos relevantes selecionados.

A Figura 19 apresenta um percentual dos artigos relacionados ao método de inibição. Pode-se observar que os estudos referentes à inibição de incrustação inorgânica de CaCO_3 são em grande maioria voltados para a utilização de inibidores químicos como tecnologia de inibição. Os trabalhos relacionados a revestimentos ou dispositivos físicos ficam com percentual próximo, porém bem abaixo dos referentes a inibidores químicos.

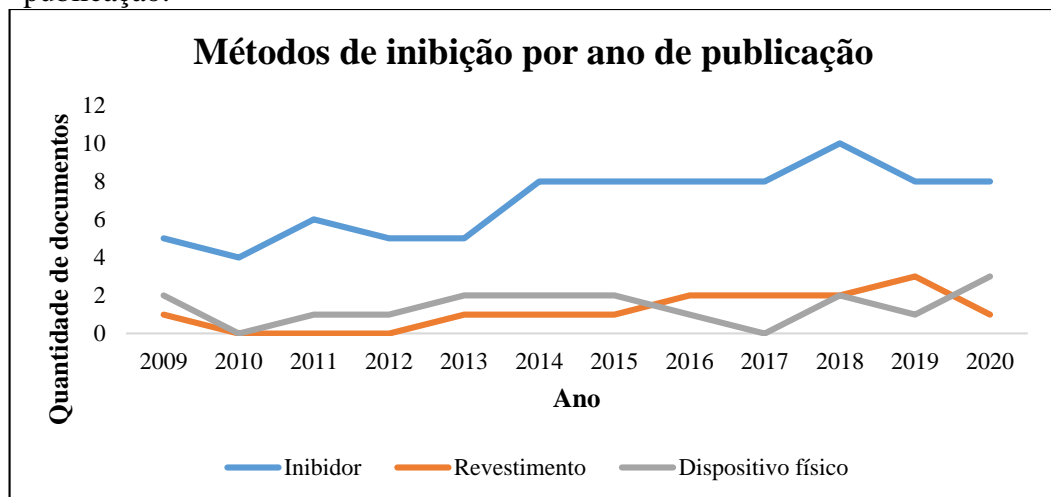
Figura 19 - Percentual dos artigos em relação aos métodos de inibição de incrustação por CaCO_3 .



Fonte: O autor, 2021.

A Figura 20 apresenta a quantidade de artigos por ano de publicação, separados por método de inibição utilizado. Pode-se observar que o método de inibição utilizando inibidores químicos apresentou um crescimento entre os anos de 2009 a 2014, mantendo uma certa estabilidade após esse período. Com relação aos trabalhos que estudam revestimento e dispositivos físicos, observa-se um baixo número de publicações, com certa estabilidade em alguns períodos, chegando a zero em alguns anos.

Figura 20 - Quantidade de documentos por método de inibição e por ano de publicação.



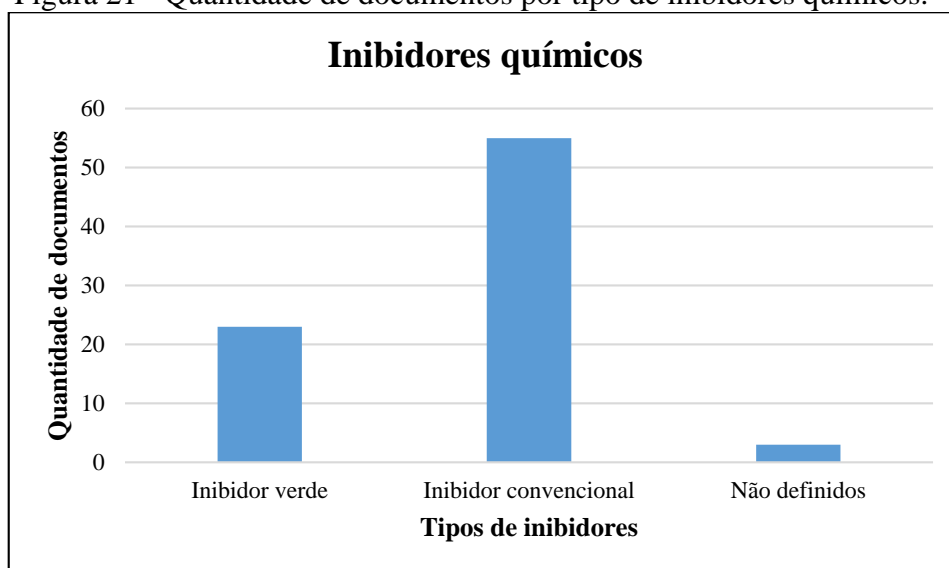
Fonte: O autor, 2021.

3.4.4 Análise Micro

Nesta análise serão detalhadas as taxonomias adotadas. Através da metodologia de busca utilizada, foram encontrados 83 artigos que abordam a utilização de inibidores químicos, 18 artigos que abordam a utilização de dispositivo físico e 14 artigos abordando a utilização de revestimento de superfície.

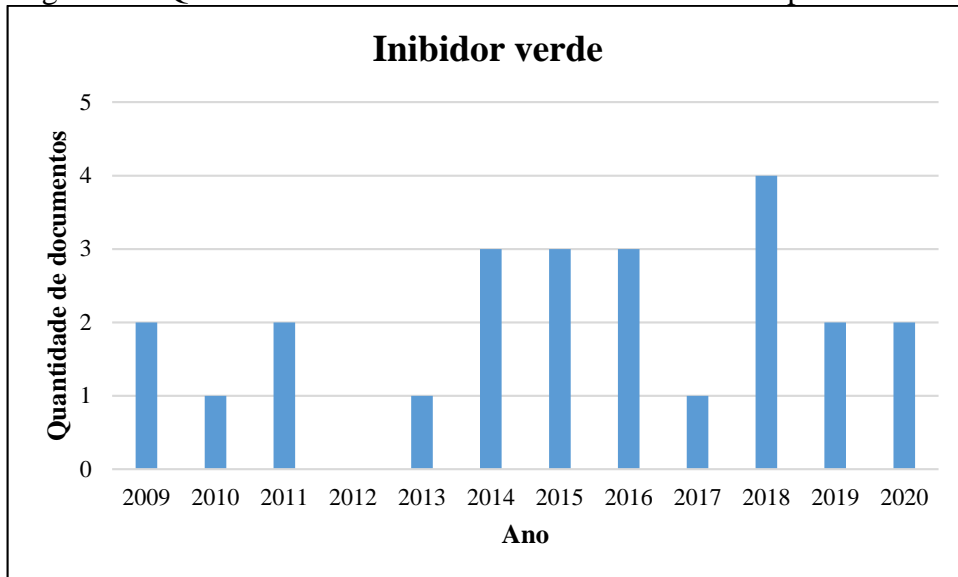
Na análise de produto podemos ainda subdividir esses métodos de inibição, especificando-os um pouco mais. Na metodologia de minimização da incrustação através de inibidores químicos podem ser utilizados inibidores convencionas, melhorando apenas sua eficiência e reformulando com outros produtos, ou podem ser utilizados os chamados inibidores verdes, que são chamados assim por serem amigáveis ambientalme. Dentre os 83 artigos dentro do tema inibidores químicos, foi possível observar 23 artigos referente a utilização de inibidor verde, 55 artigos que utilizam inibidores convencionais e 3 artigos onde não foi possível fazer essa identificação (Figura 21). Além disso, a Figura 22 mostra a evolução temporal de trabalhos que abordam inibidor verde. Com relação à utilização de dispositivos físicos, os dispositivos buscados foram magnéticos, eletromagnéticos e ultrassônicos. Dos 18 artigos que abordam essa metodologia para mitigação, 9 abordam o dispositivo magnético, 8 o ultrassônico e 6 o eletromagnético (Figura 23).

Figura 21 - Quantidade de documentos por tipo de inibidores químicos.



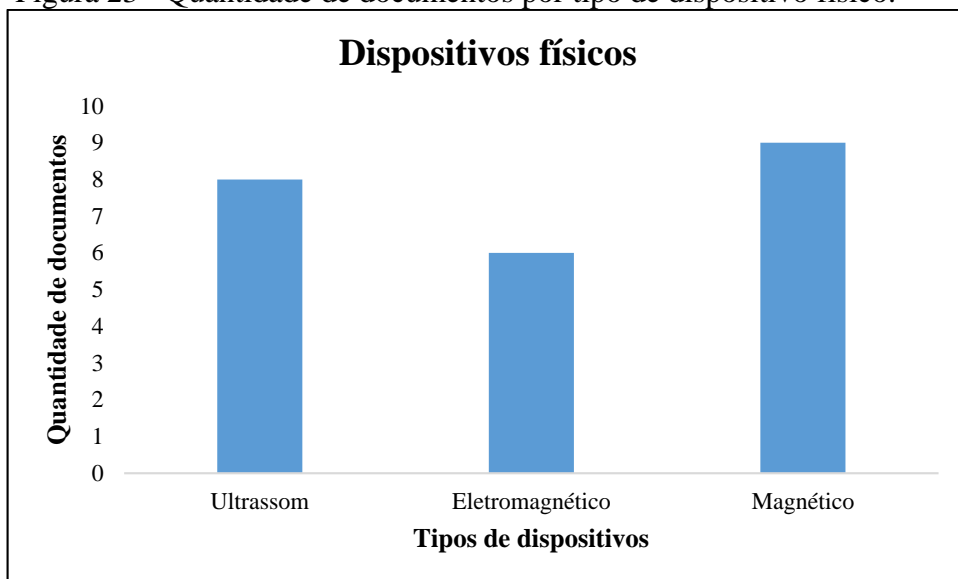
Fonte: O autor, 2021.

Figura 22 - Quantidade de documentos sobre inibidor verde por ano.



Fonte: O autor, 2021.

Figura 23 - Quantidade de documentos por tipo de dispositivo físico.



Fonte: O autor, 2021.

Na análise de mercado as taxonomias separadas foram as seguintes: aplicação em condições extremas, ambientalmente amigável, eficiente, ação múltipla (CaCO_3 ou CaCO_3 + outros tipos de incrustações/corrosão) e aplicação (geral, tratamento de fluidos, reservatórios/poço, dutos e equipamentos).

Com relação a aplicação pode-se encontrar artigos que utilizam produtos para aplicação em tratamento de fluidos, poços e reservatórios, tubulações e equipamentos, como trocadores de calor e válvulas. Uma grande parte dos artigos encontrados faz referência a aplicação na indústria de óleo e gás, mas sem apresentar um ponto específico de aplicação do produto, apenas pontuando o problema da incrustação nesse tipo de indústria e uma forma de tentar minimizá-lo.

Com relação à ação múltipla, podemos encontrar produtos e tecnologias que podem ter ação somente para evitar CaCO_3 , mas também podemos encontrar outros com ação em mais de um tipo de incrustação ou até com ação contra corrosão. Foram encontrados 70 artigos que fazem referência a minimização somente de CaCO_3 /calcita. Dentre os documentos, observou-se que existem 5 artigos que possuem produtos com ação para evitar incrustação e corrosão. Além disso, foram encontrados 37 artigos que fazem referência a produtos com ação para evitar incrustação de CaCO_3 juntamente com outros tipos de incrustação. São observados outros tipos de incrustação como de: sulfato de cálcio, sulfato de bário, carbonato de ferro, silicato, sílica, sulfato de estrôncio, carbonato de bário, carbonato de estrôncio, carbonato de magnésio, entre outras.

Com relação ao impacto ambiental da metodologia de inibição utilizada foram observados 42 documentos que podem ser classificadas como ambientalmente amigáveis. Dentre eles estão os artigos que fazem referência ao uso de inibidor verde, sendo alguns livres de fósforo em sua composição, não poluindo o meio ambiente. Além disso também podem estar nessa classificação os documentos que fazem referência ao uso de dispositivos físicos, que não geram resíduos ao meio ambiente.

Nos artigos podemos encontrar estudos relacionados a tentativa de se obter produtos mais eficientes, com altas taxas de inibição de incrustação; produtos resistentes a condições extremas de temperatura e pressão, que poderiam ser aplicados em campo; e produtos que apresentem baixa dosagem de aplicação ou baixos custos de instalação e manutenção, gerando custos menores no processo.

Na análise de tecnologia, a metodologia de inibição através de inibidores químicos foi subdividida em alguns pontos importantes, como: estabilidade térmica, baixa dosagem, compatibilidade com Ca/Salmoura, alta taxa de inibição, sem fósforo, base polimérica, com fósforo. Para utilização de revestimentos de superfície, a subdivisão foi feita com os seguintes pontos: redução da energia superficial, modificação na rugosidade da superfície, resistência a altas temperaturas, fluorocomposto/fluoropolímero, DLC (Diamond-like-carbon), cerâmica,

tinta/epóxi e novas matérias primas. Com relação a metodologia que utiliza dispositivos físicos a subdivisão da taxonomia foi feita da seguinte forma: modifica o tempo de indução, alta taxa de inibição, diminui a taxa de deposição.

Nos artigos que abordam inibidores químicos pode-se observar produtos que apresentam várias das características listadas e produtos com apenas algumas. São encontrados vários inibidores químicos contendo fósforo em sua composição, e também inibidores com composição polimérica. Além disso, existem estudos com aplicação de novas matérias primas, com objetivo de melhorar eficiência, biodegradabilidade, entre outras características. Também são observados muitos artigos que testam a estabilidade térmica dos inibidores, o que é de grande importância, já que devem resistir as condições extremas de temperatura e pressão dos campos. A dosagem de aplicação dos inibidores químicos também é bastante estudada nos artigos, com o intuito de saber com qual dosagem determinado inibidor é eficiente, e se for de baixa dosagem ainda favorece a redução de custos do processo.

Nos artigos que abordam como produto o revestimento observa-se a discussão sobre como a rugosidade e a energia superficial influenciam o processo de crescimento e deposição dos cristais de CaCO_3 . Como discutido em alguns artigos, acredita-se que a baixa energia de superfície influencia positivamente contra a formação de incrustação nas superfícies dos materiais. Os trabalhos abordam diversas composições para os revestimentos, sendo os mais conhecidos os fluoropolímeros e as cerâmicas.

Os trabalhos que abordam os dispositivos físicos mostram boas taxas de inibição de incrustação; atraso na tendência de formação da incrustação, já que a nucleação é maximizada e as partículas tendem a permanecer em solução, evitando a deposição. Para os dispositivos magnéticos, a intensidade do ímã utilizado tem bastante importância, sendo estudada em alguns artigos.

4 ELABORAÇÃO E ANÁLISE DO ROADMAP

4.1 Elaboração do roadmap

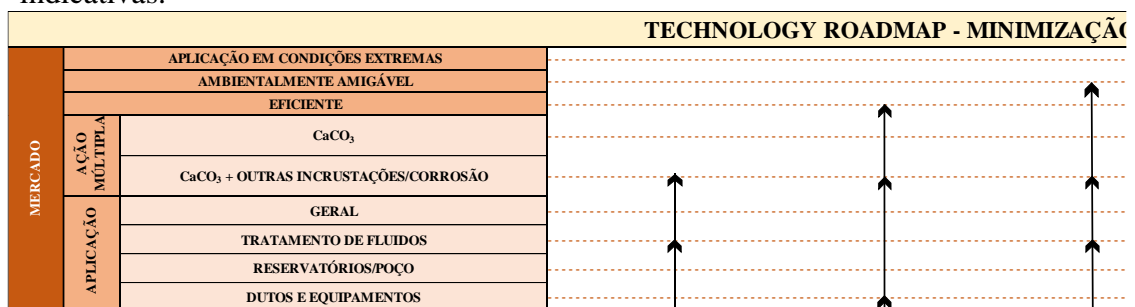
Neste tópico será abordada a montagem do *roadmap*, de acordo com a metodologia descrita anteriormente, utilizando informações da etapa prospectiva que são apresentadas no capítulo 5.

A estrutura do *roadmap* foi dividida em espaços temporais no eixo horizontal e com as taxonomias no eixo vertical. O eixo vertical é representado pelo trinômio: mercado, produto e tecnologia, cuja taxonomia é mostrada no capítulo de metodologia. O eixo horizontal (espaço temporal) foi dividido da seguinte maneira: Curto prazo (informações obtidas dos documentos de patentes concedidas), Médio prazo (informações obtidas dos documentos de patentes solicitadas) e Longo prazo (informações obtidas de artigos científicos).

O eixo vertical se divide em seções que correspondem ao mercado, produto e tecnologia. Essas informações foram obtidas através da análise dos documentos considerados relevantes no levantamento de patentes concedidas, patentes solicitadas e artigos científicos.

As taxonomias foram selecionadas de forma a organizar a exposição das informações encontradas, apresentando-as em um formato visual de mapa. As taxonomias foram dispostas em caixas empilhadas na vertical esquerda do mapa, de onde foram traçadas linhas guias na horizontal, que servem como ponto de intercessão para as setas indicativas que vão sair das logos (Figura 24).

Figura 24 - Exemplo de colocação das linhas guias e da intercessão com as setas indicativas.



Fonte: O autor, 2021.

Os documentos de patentes concedidas, patentes solicitadas e artigos foram representados nos *roadmaps* através de linhas verticais. A localização dos logos dos atores em cada espaço temporal (curto, médio e longo prazo) estão em ordem cronológica com relação ao ano de publicação dos documentos. O que define as características de cada um são as setas indicativas que estão na linha vertical e interceptam as linhas horizontais. Cada seta se conecta à taxonomia apresentada na lateral esquerda, iniciando-se do produto. Resumindo, em cada coluna os logotipos foram posicionados de acordo com o espaço temporal identificado, ocorrendo ligação da instituição com a linha de pesquisa, que foi realizada através das setas que iniciam na seção de produto.

Quando dois ou mais atores possuem o mesmo perfil de características no mapa, eles são alocados em um quadrado maior, formando um *cluster*. Os *clusters* podem indicar empresas/instituições que estão trabalhando juntas ou que estão pesquisando sobre o mesmo assunto. Dessa forma, quando os atores possuem as mesmas taxonomias, ou seja, estão pesquisando sobre o mesmo assunto, pode aparecer a indicação “Mesmo foco”, ou caso os atores tenham trabalhado juntos, pode aparecer a indicação “Parceria”. No caso deste trabalho, todos os clusters estão dentro da categoria “Parceria”, por isso não há indicação no mapa.

A apresentação total do mapa não é de fácil visualização, pois o mesmo é muito extenso. Dessa forma, o mapa será apresentado em cortes temporais (curto, médio e longo prazo), com as taxonomias repetidas em cada corte, facilitando a leitura.

Detalhando um pouco mais sobre a montagem do *roadmap* através das taxonomias, pode-se verificar a presença do trinômio mercado, produto e tecnologia. Com relação ao mercado, a taxonomia pode ser subdivida em: aplicação em condições extremas, ambientalmente amigável, eficiente, ação múltipla (CaCO_3 ou CaCO_3 + outros tipos de incrustações/corrosão) e aplicação (geral, tratamento de fluidos, reservatórios/poço, dutos e equipamentos) (Figura 25).

Figura 25 - Subdivisão da taxonomia para Mercado.

MERCADO	APLICAÇÃO EM CONDIÇÕES EXTREMAS	
	AMBIENTALMENTE AMIGÁVEL	
	EFICIENTE	
	AÇÃO MÚLTIPLA	CaCO₃
		CaCO₃ + OUTRAS INCRUSTAÇÕES/CORROSÃO
	APLICAÇÃO	GERAL
		TRATAMENTO DE FLUIDOS
		RESERVATÓRIOS/POÇO
		DUTOS E EQUIPAMENTOS

Fonte: O autor, 2021.

Analisando o produto, a taxonomia pode ser dividida em: inibidor químico (convencional ou verde), revestimento e dispositivos físicos (magnético, eletromagnético e ultrassom) (Figura 26).

Figura 26 – Subdivisão da taxonomia para Produto.

PRODUTO	INIBIDOR QUÍMICO	INIBIDOR CONVENCIONAL
		INIBIDOR VERDE
	REVESTIMENTO	
	DISPOSITIVO FÍSICO	MAGNÉTICO
		ELETROMAGNÉTICO
		ULTRASSOM

Fonte: O autor, 2021.

A subdivisão da taxonomia referente a tecnologia foi realizada da seguinte forma: inibidor químico (estabilidade térmica, baixa dosagem, compatibilidade com Ca/Salmoura, alta taxa de inibição, sem fósforo, base polimérica, com fósforo); revestimento (redução da energia superficial, modificação na rugosidade da superfície, resistência a altas temperaturas, fluorocomposto/fluoropolímero, DLC, cerâmica, tinta/epóxi, novas matérias primas) e dispositivos físicos (modifica o tempo de indução, alta taxa de inibição, diminui a taxa de deposição) (Figura 27).

Figura 27 - Subdivisão da taxonomia para Tecnologia.

TECNOLOGIA	INIBIDOR QUÍMICO	ESTABILIDADE TÉRMICA
		BAIXA DOSAGEM
		COMPATIBILIDADE COM Ca/SALMOURA
		ALTA TAXA DE INIBIÇÃO
		SEM FÓSFORO
		BASE POLIMÉRICA
	REVESTIMENTO	COM FÓSFORO
		REDUÇÃO ENERGIA SUPERFICIAL
		MODIFICAÇÃO NA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE
		RESISTÊNCIA A ALTAS TEMPERATURAS
		FLUOROCOMPOSTO/FLUOROPOLÍMERO
		DLC (Diamond like carbon)
		CERÂMICA
		TINTA/EPÓXI
		NOVAS MATÉRIAS PRIMAS
		DISP. FÍSICO
	ALTA TAXA DE INIBIÇÃO	
	DIMINUI A TAXA DE DEPOSIÇÃO	

Fonte: O autor, 2021.

4.2 Análise do roadmap

4.2.1 Curto prazo

Através do corte temporal do *technology roadmap* para curto prazo (Figura 28) é possível observar quem são os atores que detêm as tecnologias na forma de patentes concedidas.

Em relação aos atores que detêm as tecnologias, observa-se que não há nenhum grande destaque. Cada patente concedida mostrada nesse estudo como relevante é representada por um aplicante diferente.

Observa-se a presença de empresas chinesas do ramo de óleo e gás, empresa americana de licenciamento e fabricação de tecnologia inovadora e autores americanos e chineses.

Os autores Dennis McGuire e Sanjeev Jakhele são detentores de uma patente de dispositivo físico ultrassônico, assim como a empresa Ecosphere Technologies também é. As duas patentes apresentam as mesmas características, sendo uma continuação da outra. No que se refere ao produto, ambas tratam de dispositivo ultrassônico. Ambas são aplicadas a tratamento de fluidos e possuem ação para evitar incrustação de CaCO_3 e outros tipos. O produto pode ser considerado ambientalmente amigável, por não gerar resíduos químicos

prejudiciais ao meio ambiente e também tem característica de diminuir a taxa de deposição de incrustação.

Todas as outras patentes possuem como produto o inibidor químico. A empresa Petrochina Company é aplicante de uma patente que tem como produto um inibidor químico verde feito a partir de novas matérias primas; não possui fósforo em sua composição, sendo considerado ambientalmente amigável. É um produto com aplicação em tratamento de fluidos, com ação contra incrustação e corrosão. Possui também boa eficiência, apresentando alta taxa de inibição e aplicação de baixa dosagem.

A empresa Huzhou Xinhe Environment Science & Technology é aplicante detentora de patente referente a inibidor químico de base polimérica, com aplicação em tratamento de fluidos e ação contra CaCO_3 e outros tipos de incrustação. O produto apresenta alta taxa de inibição e estabilidade térmica, podendo ser aplicado em campo.

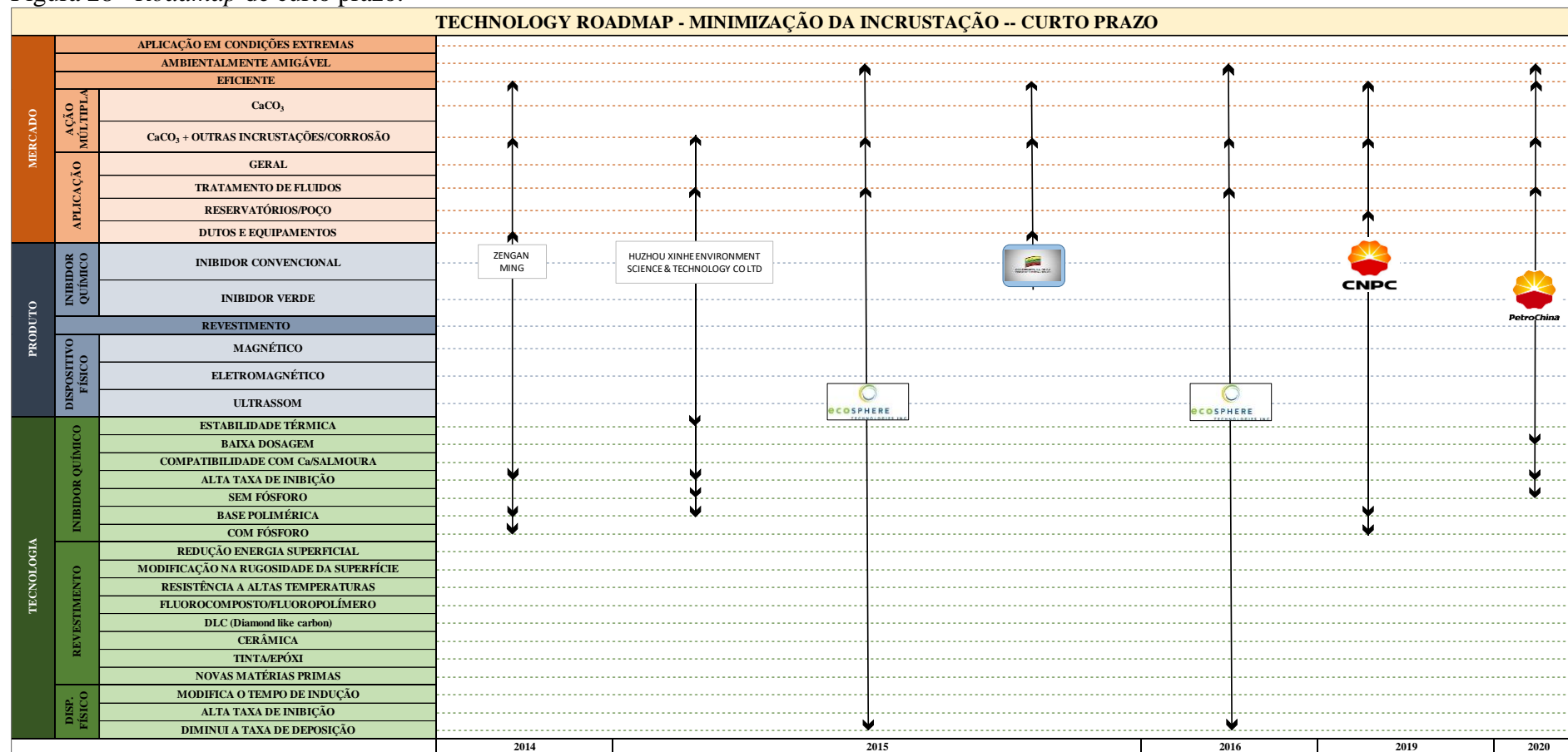
A patente de Zengan Ming aborda um inibidor químico convencional de base polimérica, com aplicação em dutos e equipamentos e ação para evitar CaCO_3 e outros tipos de incrustação. O produto é considerado eficiente, com boa taxa de inibição.

A empresa CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company limited em parceria com o Engineering Technical Research Institute é detentora de uma patente que aborda como produto um inibidor químico convencional, com base polimérica e de fosfonatos. É um produto considerado eficiente, com aplicação em reservatórios e poços e possui ação que evita incrustação de CaCO_3 e outros tipos de incrustação.

Outra patente apresenta aplicação para remoção de incrustação em dutos, evita incrustação de CaCO_3 e outros tipos de incrustação. Apresenta produto de alta eficácia, pois permite que haja inibição, produzindo grupos com baixo peso molecular e alta estabilidade, que vão ficar no núcleo da solução sem que haja a precipitação de aglomerados insolúveis.

Para o corte temporal de curto prazo, através do *roadmap* confeccionado, pode-se concluir que quanto ao tipo de ação, todos têm ação que evita a formação de CaCO_3 e outros tipos de incrustação ou corrosão. Com o passar do tempo verifica-se que há a preocupação com o uso de inibidores verdes, aparecendo uma patente relacionada no ano de 2020. Quanto a aplicação verifica-se uma diversificação, porém o maior número é para tratamento de fluidos.

Figura 28 - Roadmap de curto prazo.



Fonte: O autor, 2021.

4.2.2 Médio prazo

Através do corte temporal do *technology roadmap* para médio prazo (Figura 29) é possível observar quem são os atores que detêm as tecnologias na forma de patentes solicitadas.

Uma das patentes solicitadas tem como detentora uma universidade chinesa, a Chengdu University of Technology. O documento aborda um inibidor convencional de base polimérica, com aplicação em reservatórios e com ação somente para evitar a formação de incrustação de CaCO_3 .

Ainda sobre a China, pode-se observar mais duas patentes solicitadas em que o país é detentor. Uma tem como aplicante o autor Wang Gesheng, que aborda um inibidor químico convencional, que tem na composição uma mistura de matérias primas, possuindo substância polimérica e ácido fosfônico. O produto possui ação que evita a incrustação de CaCO_3 e também a de fosfato de cálcio. Além disso, possui alta taxa de inibição e compatibilidade com Ca.

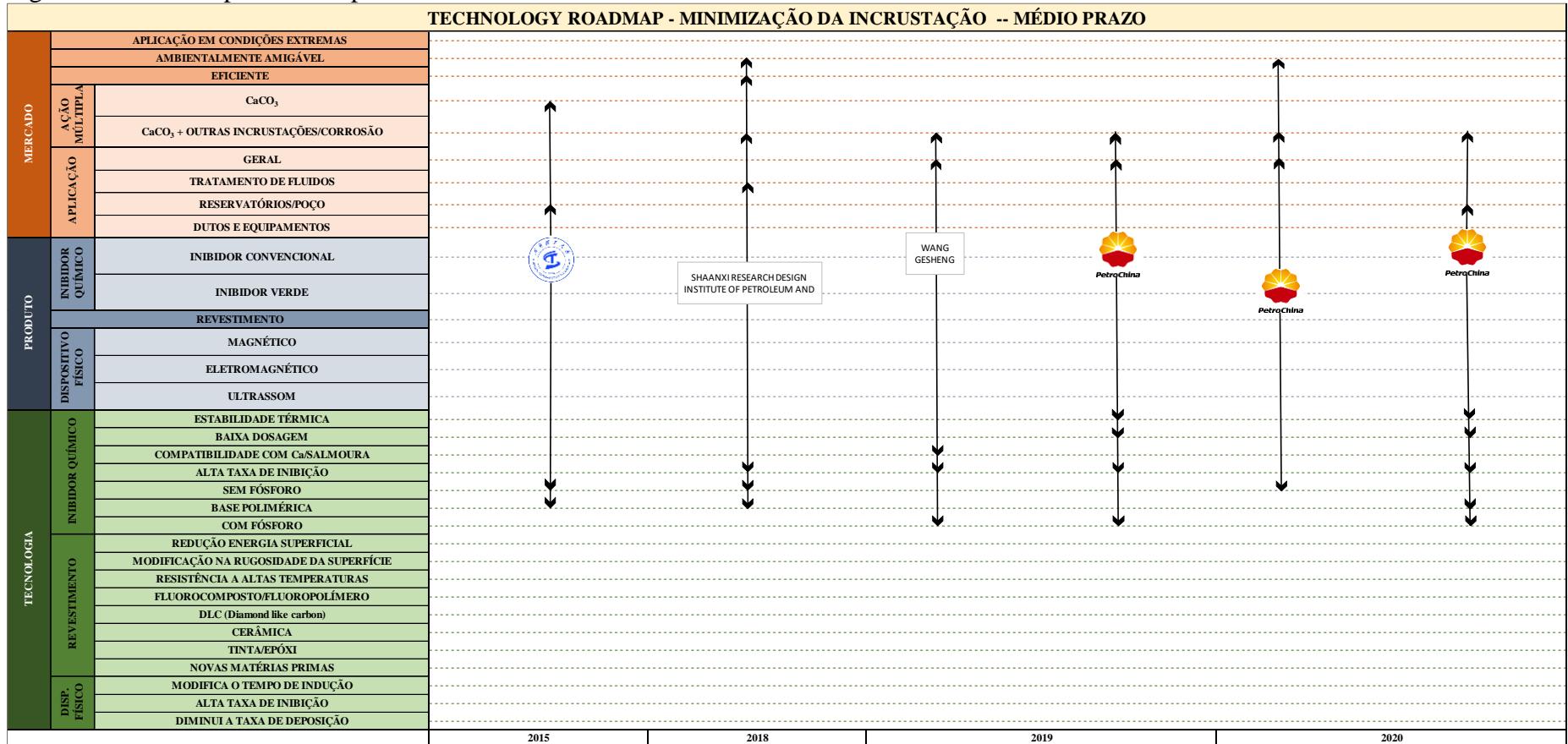
Outra patente de instituto chinês, Shaanxi Research Design Institute of Petroleum and Chemical Industry, apresenta inibidor químico verde, de base polimérica e sem fósforo, podendo ser considerado ambientalmente amigável. Além disso, o produto tem aplicação em tratamento de fluidos e ação para evitar formação de CaCO_3 e outros tipos de incrustação. O produto possui boa taxa de inibição, sendo considerado eficiente em sua aplicação.

Além disso, a empresa Petrochina Company Limited é detentora de três patentes solicitadas que abordam o produto inibidor químico contra incrustação. Duas das patentes possuem características bem parecidas, apresentando inibidor convencional com ácido fosfônico em sua composição, com ação contra incrustação e corrosão, além de características como alta taxa de inibição, baixa dosagem de produto e estabilidade térmica. Além disso, uma delas possui aplicação em poço de petróleo. A terceira patente da empresa Petrochina apresenta um inibidor que pode ser considerado como inibidor verde, por não conter fósforo em sua composição, sendo ambientalmente amigável. O produto possui composição com uma mistura de matérias primas e tem ação que evita a incrustação de CaCO_3 e outros tipos de incrustações.

Para o corte temporal de médio prazo, através do *roadmap* confeccionado, pode-se concluir que em relação ao tipo de ação, os estudos estão relacionados a ação para evitar

formação de CaCO_3 e outros tipos de incrustação. Da mesma forma que na análise de curto prazo, no que se refere a aplicação observa-se uma diversidade entre aplicação geral, tratamento de fluidos e reservatórios. Nessa análise verifica-se o aparecimento de dois documentos abordando inibidores verdes, verificando um aumento na preocupação ambiental, em utilizar inibidores sem fósforo.

Figura 29 - Roadmap de médio prazo.



Fonte: O autor, 2021.

4.2.3 Longo prazo

Através do corte temporal do *technology roadmap* para longo prazo é possível observar quem são os atores que detém as tecnologias na forma de artigos científicos.

Para elaboração do *roadmap* de longo prazo (Figura 30Figura 31Figura 32), visto a dificuldade em se representar tantos artigos no mapa, foi realizada uma seleção dos artigos científicos relevantes encontrados. Essa seleção foi realizada levando-se em consideração as principais empresas/instituições que possuem participação em artigos científicos. Em cada artigo pode haver a possibilidade de parceria entre empresas ou instituições, mas só foi levada em consideração a empresa/instituição principal. Depois de realizada a seleção, a quantidade de artigos que era de 112, caiu para 61. A Tabela 11 apresenta as empresas que foram levadas em consideração para a seleção dos documentos que vão estar no *roadmap*.

Tabela 11 - Empresas que foram levadas em consideração para a seleção dos documentos do *roadmap*.

EMPRESAS/INSTITUIÇÕES	Nº DOCUMENTOS
Northeast Petroleum University	8
University of Leeds	7
Saudi Aramco	7
Southwest Petroleum University China	6
Petrobras	5
Universitetet i Stavanger	5
Baker Hughes	4
China University of Petroleum East China	4
Nalco	4
Ufa State Aviation Technical University	3
National Research Centre	3
Russian Academy of Sciences	3
Halliburton	3
Clariant	3
Schlumberger	3
Statoil	3
Universidade Federal do Rio de Janeiro	2

Fonte: O autor, 2021.

Dentre as empresas participantes dos artigos científicos pode-se citar empresas conhecidas como: Baker Hughes, Clariant, Halliburton, Nalco, Petrobras, Saudi Aramco, Schlumberger, Statoil, entre outras. Além disso, pode-se observar instituições como: China University of Petroleum, University of Leeds, Northeast Petroleum University, Southwest Petroleum University, University of Stavanger, Universidade Federal do Rio de Janeiro entre outras.

Assim como nos *roadmaps* de curto e médio prazo, no *roadmap* de longo prazo os documentos foram alocados em ordem cronológica com relação ao ano de publicação. Dentre os artigos científicos que estão representados no *roadmap* (após seleção), não foram encontrados artigos que possuem exatamente as mesmas características num mesmo ano, para serem representados juntos como “Mesmo foco”. Todos os artigos que possuem mais de uma logo representada estão dentro da categoria “Parceria”, representando instituições/empresas que trabalharam juntas no mesmo documento.

Dentre as principais empresas representadas no *roadmap*, pode-se observar a Saudi Aramco com 7 artigos; Petrobras com 5 artigos; Baker Hughes e Nalco com 4 artigos; Clariant, Halliburton, Schlumberger e Statoil com 3 artigos. Dentre elas, algumas trabalham sozinhas e outras sempre em parceria. Observa-se que a Petrobras está sempre em parceria com universidades nos artigos publicados.

Dentre as instituições e universidades representadas, observa-se a Northeast Petroleum University com 8 artigos, University of Leeds com 7 artigos, Southwest Petroleum University com 6 artigos, University of Stavanger com 5 artigos, China University of Petroleum com 4 artigos, entre outras.

Alguns artigos considerados no *roadmap* abordam em seu conteúdo uma diversificação de produto, ou seja, abordam produtos diferentes no mesmo documento. Isso ocorre em dois artigos de dispositivos físicos, em que um aborda dispositivo magnético, eletromagnético e ultrassônico; e o outro artigo aborda dispositivo eletromagnético e ultrassônico no mesmo documento.

Além desses, existem artigos que abordam o tema inibidor químico como forma de mitigação e que apresentam mais de um tipo de inibidor em seus estudos. Os artigos que apresentam setas vermelhas indicam a abordagem de mais de um tipo de inibidor químico no trabalho. Por exemplo, no artigo de 2020, da empresa Saudi Aramco, pode-se observar que o trabalho aborda tanto um inibidor com fósforo, a base de fosfonato, quanto um inibidor polimérico sem fósforo, com base de poliacrílico.

Na representação em que somente uma das bases está marcada com a seta vermelha, quer dizer que apesar do artigo tratar de mais de um tipo de inibidor, o que está em preto é o que atende a todas as características marcadas no *roadmap*. Por exemplo, no artigo de 2010, da empresa Clariant, pode-se perceber que o mesmo menciona tanto inibidor de base polimérica quanto inibidor com fósforo, no entanto todas as outras características destacadas no *roadmap* fazem referência ao inibidor do tipo polimérico, que está marcado com a seta preta.

Em outros casos, as três setas encontram-se vermelhas (sem fósforo, base polimérica, com fósforo), sendo abordado nesse trabalho inibidor químico de base polimérica, sem fósforo; e inibidor químico com fósforo. Exemplo disso ocorre no artigo de 2013, das empresas Saudi Aramco e Schlumberger, que estudam ácido poliacrílico e ácido polifosfinocarboxílico.

Quando estão marcados de vermelho somente as setas relativas a base polimérica e com fósforo, geralmente os artigos falam sobre inibidores de base polimérica com fósforo em sua composição ou sem especificação e ainda de inibidores com fósforo na composição que não são de base polimérica.

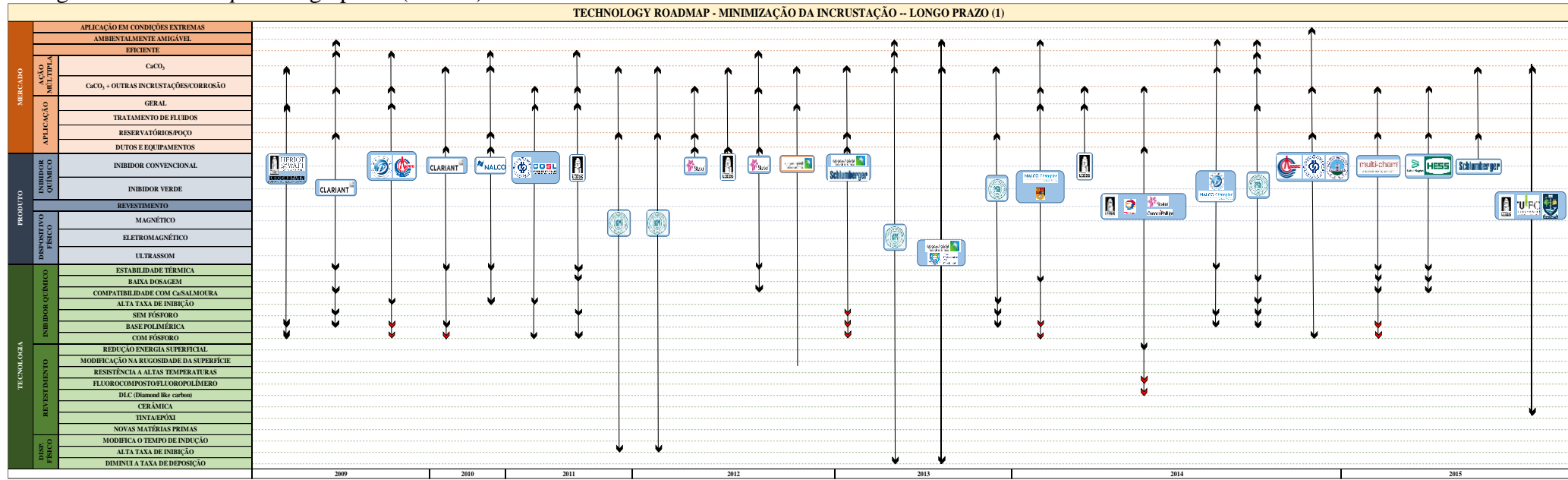
Esse tipo de agrupamento também ocorre em dois artigos de revestimento, que falam sobre mais de um tipo de revestimento. Um artigo de 2014 aborda revestimentos do tipo fluoropolímeros, fluorocompostos e com DLC; aborda ainda outros tipos como nitrocarburação, superacabamento e tinta texturizada. Um outro artigo de 2016 sobre revestimento de superfície aborda revestimentos do tipo fluoropolímeros (PTFE, ETFE, PFA, FEP), DLC, cerâmica e pintura epóxi.

De maneira geral, todos os artigos que abordam estudos sobre inibidores verdes entram na categoria de produto ambientalmente amigável, sendo menos prejudicial ao meio ambiente ou ainda não prejudicial. Isso ocorre geralmente em inibidores químicos que não contém fósforo em sua composição, já que essa substância pode causar eutrofização no ambiente aquático quando a sua concentração é aumentada.

Para o corte temporal de longo prazo, através do *roadmap* confeccionado, observa-se que os documentos estão bem divididos em relação ao tipo de ação, seja para evitar somente CaCO_3 ou CaCO_3 e outros tipos de incrustação ou corrosão. Ainda observando o *roadmap* de longo prazo, com relação ao produto verifica-se que conforme os anos vão passando, vão aparecendo os trabalhos sobre inibidores verdes, mostrando o aumento da preocupação ambiental. Além disso não se vê um grande crescimento nos trabalhos referentes a

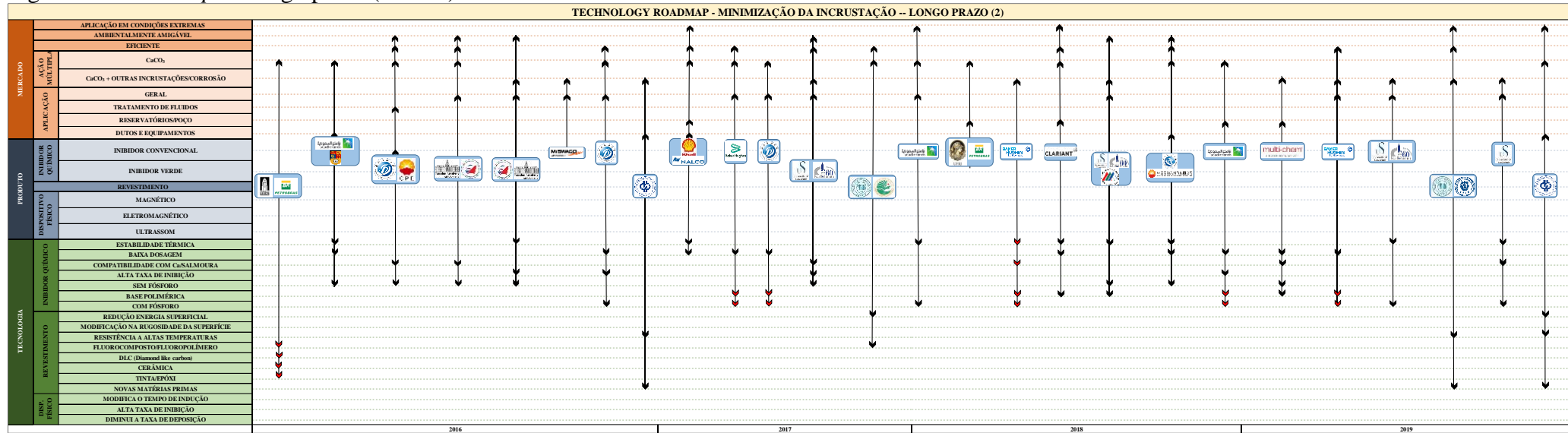
revestimento e dispositivos físicos, com o inibidor químico ainda prevalecendo como produto para minimização da incrustação. Observa-se ainda um aumento das características dos inibidores com o passar do tempo, como estabilidade térmica, compatibilidade e outras que são de grande importância no melhor desempenho do produto.

Figura 30 - Roadmap de longo prazo (Parte 1).



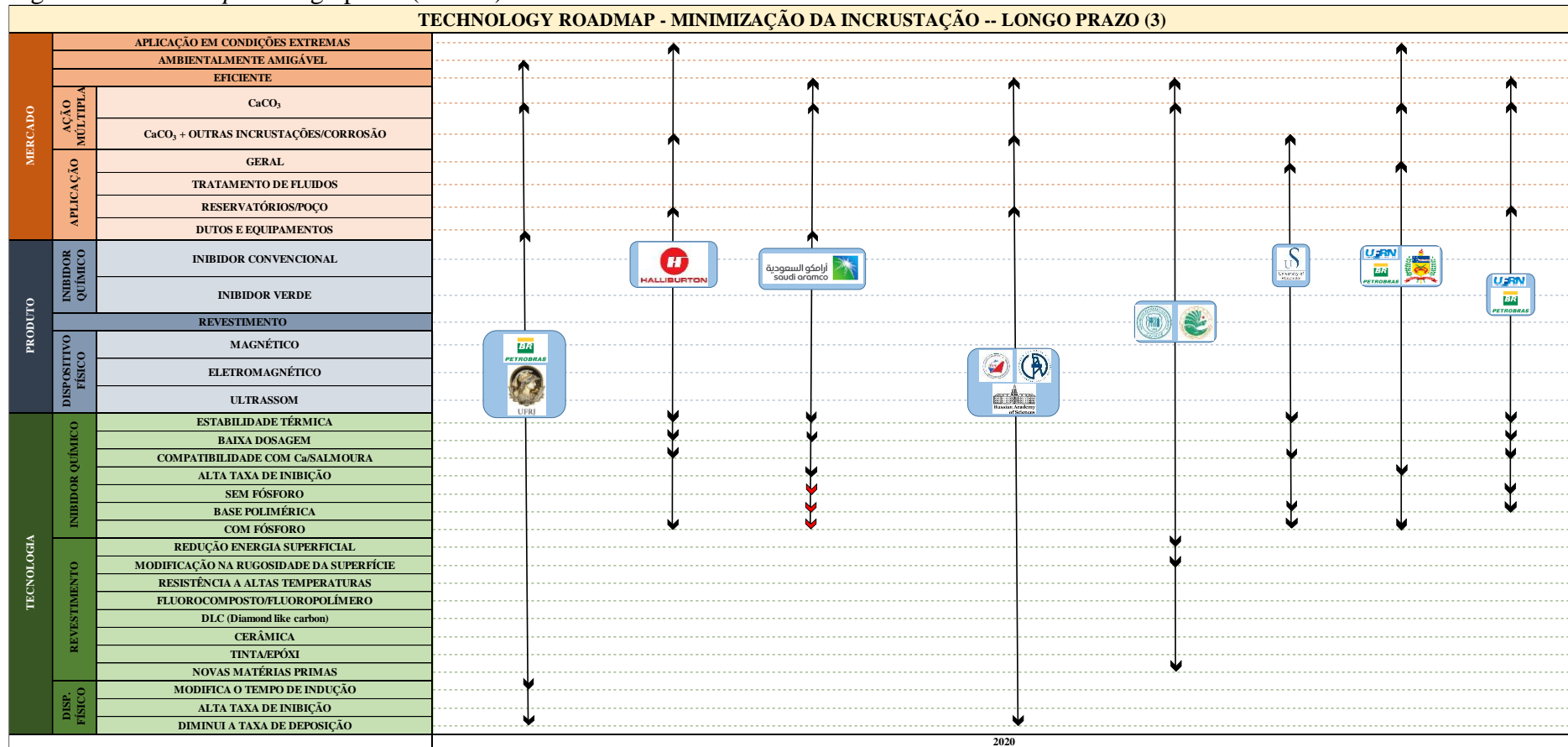
Fonte: O autor, 2021.

Figura 31 - Roadmap de longo prazo (Parte 2).



Fonte: O autor, 2021.

Figura 32 - Roadmap de longo prazo (Parte 3).



Fonte: O autor, 2021

4.3. Atualização da pesquisa

Como observado nos tópicos anteriores, o período de pesquisa de dados para elaboração do *roadmap* foi de 2009 até 2020. O último ano da pesquisa foi 2020, visto o período de início das buscas e elaboração do trabalho.

Como forma de atualizar as pesquisas, mesmo que não estejam incluídas no *roadmap*, foi realizada uma busca, com as mesmas palavras chaves e filtros utilizados no trabalho, englobando somente o ano de 2021.

Nessa busca foram encontrados um total de 15 artigos considerados relevantes. Desses artigos, 12 abordavam o uso de inibidor químico, 3 sobre revestimento e 1 sobre dispositivo físico. Analisando os artigos de inibidores químicos, verificou-se que 5 deles abordam o uso de inibidores verdes. Além disso, o artigo referente a dispositivo físico magnético é citado com uso conjunto com inibidor químico.

Sem analisar muitas características, resumidamente, pode-se observar que os estudos referentes a inibidores químicos continuam em maioria quando comparados aos outros tipos de prevenção. Além disso, observa-se também a existência de trabalhos direcionados ao estudo de inibidores verdes, mostrando a preocupação ambiental.

4.4. Complemento da pesquisa

Como já dito anteriormente, a pesquisa de artigos realizada neste trabalho foi feita em uma base de dados acadêmica, a Scopus. Assim, todos os resultados e tendências de longo prazo obtidos nesse trabalho estão relacionados a uma única base de dados acadêmica. Dessa forma, era de se esperar o grande número de parcerias entre empresas e universidades, e também o maior percentual de universidades responsáveis pelos artigos científicos.

Para complementar a pesquisa, foram realizadas algumas buscas em uma base de dados industrial e tecnológica, com o objetivo de comparar quantitativamente o número de documentos com os encontrados na Scopus.

A base de dados utilizada foi a Society of Petroleum Engineers (SPE). A SPE é uma organização individual que atende gerentes, engenheiros, cientistas e outros profissionais no segmento upstream da indústria de petróleo e gás. É uma sociedade global independente e

sem fins lucrativos, que gerencia os principais recursos da indústria, além de publicar revistas, livros e periódicos revisados.

A busca foi realizada utilizando as mesmas palavras chaves já consideradas nas buscas anteriores. O grupo de palavras utilizado foi: “scaling” and (“scale inhibitor” or “coating” or “magnetic” or “eletromagnetic” or “ultrasonic”) and (“calcium carbonate” or “CaCO₃” or “calcite”). Foi utilizado também o filtro de ano de publicação, considerando publicações de 2009 até 2020, como utilizado na busca anterior.

Através da pesquisa foram encontrados 402 documentos. Levando em consideração que essa busca não foi refinada manualmente, como na realizada na pesquisa acadêmica, para considerar somente os documentos relevantes, esse número de documentos diminuiria um pouco no momento de fazer as análises. Além disso, existem documentos encontrados na base Scopus que também vão aparecer na busca realizada na base SPE.

Dessa forma, o número de documentos analisados não seria tão maior do que os encontrados na base acadêmica Scopus. Contudo, seria relevante considerar como recomendação de trabalhos futuros a análise das tendências na base de dados industrial SPE e em outras bases de dados existentes, de forma a avaliar se as tendências se manteriam iguais em todas as bases e se poderiam ser consideradas de uma forma global.

5. ANÁLISE SOBRE OS TRABALHOS RELATIVOS AO TEMA NO BRASIL

Como visto nas análises anteriores, dentre os documentos de patentes concedidas e patentes solicitadas consideradas relevantes para o trabalho, não foram encontrados nenhum pelo qual o Brasil é um dos detentores.

Já considerando os documentos relevantes da busca de artigos científicos na base Scopus com as palavras chaves utilizadas, foram encontrados 5 documentos nos quais o Brasil é responsável ou tem participação.

Dentre os 5 documentos encontrados, observa-se que 3 documentos falam sobre estudos com inibidor químico, 1 sobre dispositivos físico e 1 sobre revestimento.

Dentre os principais responsáveis pelos documentos, pode-se observar que em todos eles há participação ou investimento da Petrobras. Têm-se 2 artigos nos quais há parceria entre a UFRJ e a Petrobras, 1 artigo com parceria entre a UFRN e a Petrobras, 1 artigo com parceria entre UFRN, UFSC e Petrobras, e ainda se tem 1 artigo com parceria entre University of Leeds e Petrobras.

Dentre os artigos que abordam inibidor químico como produto encontra-se:

- Artigo sobre minimização da incrustação de CaCO_3 com aplicação em reservatórios e poços, utilizando inibidor químico convencional, porém sem maiores informações sobre a tecnologia.

- Artigo com inibidor convencional, aplicação geral, ação contra incrustação de CaCO_3 , aplicável em condições extremas, contendo fósforo em sua composição e com alta taxa de inibição.

- Artigo sobre inibidor verde com aplicação a reservatórios, ação contra CaCO_3 , eficiente, estabilidade térmica, baixa dosagem, compatibilidade com salmoura, de base polimérica e sem fósforo.

O artigo que aborda minimização da incrustação através de revestimento tem ação contra carbonato de cálcio e estuda/testa vários tipos de matéria prima, como fluoropolímeros (PTFE, ETFE, PFA, FEP), DLC (Diamond like carbon), pintura epóxi, materiais cerâmicos.

O trabalho referente a utilização de dispositivos físicos como forma de minimizar a incrustação, aborda dispositivos magnéticos, eletromagnéticos e ultrassônicos. O artigo mostra que os dispositivos têm ação contra a incrustação de carbonato de cálcio, com

aplicação geral, modificam o tempo de indução para formação de carbonato de cálcio e ainda diminuem a taxa de deposição. Como os dispositivos não geram resíduos ao meio ambiente, podem também ser considerados ambientalmente amigáveis.

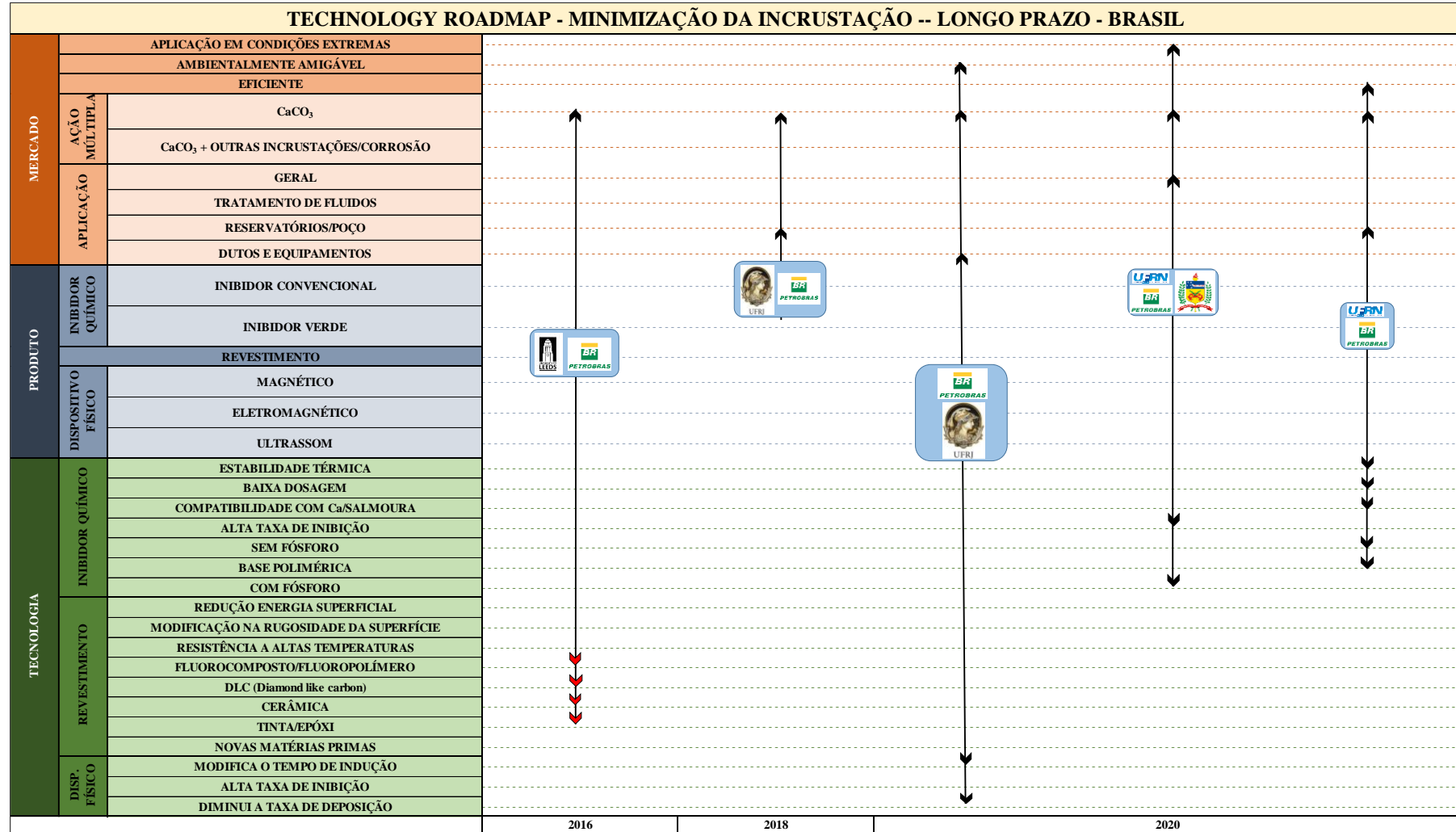
Na Figura 33 encontra-se um resumo onde são colocados somente os artigos científicos relacionados ao Brasil em um *roadmap*.

Através da análise dos resultados, contida no capítulo 5, pode-se observar que em relação aos principais países responsáveis pelos artigos encontrados, o Brasil, no geral, possui poucas publicações. No entanto, se levar em consideração as principais empresas do ramo que possuem publicações, o Brasil, com a Petrobras tem um número de publicações próximo aos das outras empresas.

A Petrobras, como visto, é uma empresa que faz muitas parcerias com universidades. Dessa forma, também pode ser levado em consideração a possibilidade de existirem parcerias com universidades, mas que não gerem publicações e o produto ou tecnologia seja diretamente utilizado ou aplicado.

Como o Brasil possui uma grande empresa no ramo de produção e exploração de óleo e gás, a Petrobras, era de se esperar que um número maior de publicações fosse encontrado. Porém, deve-se lembrar que podem existir mais trabalhos que tenham o Brasil como autor, contudo a busca foi realizada somente utilizando a base de dados acadêmica Scopus. Dessa forma podem existir outras publicações em diferentes bases de dados que não foram consultadas.

Figura 33 - Roadmap representando os trabalhos realizados no Brasil.



CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi criado um roadmap para verificar tendências relacionadas a minimização da incrustação em sistemas de produção e exploração de óleo e gás, de forma a compreender o estado da arte do referido setor ao longo do tempo (2009-2020).

O objetivo do trabalho foi alcançado através do levantamento dos documentos de patentes concedidas, patentes solicitadas e artigos científicos, e da análise dos mesmos, que levou a elaboração dos *roadmaps* de curto, médio e longo prazo. A construção do *technology roadmap* permitiu avaliar as tendências ao longo de um tempo definido, concluindo-se que:

- Com relação a análise de curto prazo observa-se que em todos os documentos o tipo de ação abordada é para evitar a incrustação de CaCO_3 e outros tipos. Com relação ao tipo de aplicação do produto, no curto prazo, observa-se que há o aparecimento de aplicação em tratamento de fluidos, reservatórios e dutos e equipamentos, mostrando que há abordagem de todos os tipos de aplicação. No curto prazo observa-se como métodos de prevenção (produtos) os inibidores de incrustação e os dispositivos físicos, não se observando o uso de revestimentos.

- Para o médio prazo, com relação ao tipo de ação do produto, ocorre o mesmo que no período de curto prazo, sendo a maior parte dos produtos para evitar incrustação de CaCO_3 e outros tipos de incrustação. Com relação ao tipo de aplicação, assim como no curto prazo, existe uma diversidade dos tipos de aplicação do produto, visto que o problema de incrustação pode ocorrer em todo o processo de produção. Com relação ao método de prevenção, observa-se somente o aparecimento de inibidores de incrustação

- Para o longo prazo, diferente das análises de curto e médio prazo, há uma divisão entre trabalhos com ação somente para evitar CaCO_3 e outros para evitar CaCO_3 e outros tipos de incrustação. Isso revela um aparecimento da preocupação em atacar os problemas de incrustação separadamente, estudando um tipo específico de incrustação e uma forma de tentar diminuir esse problema. Para os tipos de aplicação, assim como nos *roadmaps* anteriores, observa-se que há estudos com aplicação em vários pontos do processo de produção, visto que o problema pode ocorrer em todos eles. No longo prazo, observa-se o

aparecimento dos três tipos de métodos de prevenção estudados, os inibidores químicos, os revestimentos e os dispositivos físicos. Isso mostra uma diversidade nos tipos de produto estudados, apesar de os estudos de inibidores de incrustação prevalecerem.

- No que diz respeito a avaliação da preocupação ambiental é possível observar, através dos *roadmaps*, o aparecimento de produtos menos agressivos ao meio ambiente com o passar do tempo. Nota-se que no curto prazo e médio prazo já existem produtos ambientalmente amigáveis, porém no *roadmap* de longo prazo a quantidade de produtos ambientalmente amigáveis cresce. Isso mostra que está havendo uma preocupação ambiental maior nos estudos relacionados a incrustação, principalmente com a utilização de inibidores verdes, com matérias primas que trazem menores prejuízos ambientais.

Apesar de se observar um aumento da preocupação ambiental, no longo prazo, também foi possível perceber que diversos autores mantêm a mesma linha de pesquisa em diferentes horizontes temporais, ou seja, não estão acompanhando a evolução tecnológica identificada no presente estudo. Isso pode estar ocorrendo devido a eficiência já bastante estudada e comprovada de algumas matérias primas utilizadas na fabricação de inibidores, como os inibidores a base de fósforo.

- A maior parte das universidades e instituições do setor pesquisado estão localizadas na China, Estado Unidos e Reino Unido para os artigos científicos. Para a literatura patentária identifica-se China e Estados Unidos como principais detentores das tecnologias.

- As parcerias na autoria dos documentos são muito mais comuns nos artigos científicos do que na literatura patentária, sendo as universidades e as empresas, os tipos de instituições predominantes nessa relação de parceria.

- Com relação a análise dos estudos referentes ao tema no âmbito brasileiro, era de se esperar que um número maior de publicações fosse encontrado. Contudo, quando se compara as publicações de empresas do ramo de óleo e gás, é possível perceber que o Brasil, com a Petrobras como representante, tem um número de publicações relevante. No âmbito brasileiro, os estudos referentes a minimização da incrustação estão em sua maioria voltados a parcerias entre a Petrobras e as universidades. Deve-se ressaltar que podem existir outras publicações

em diferentes bases de dados que não foram consultadas, já que aqui só foi utilizada a base de dados acadêmica Scopus.

De forma geral, através dos estudos e análises realizadas, verifica-se a tendência num horizonte temporal. A indicação de longo prazo mostra a tendência no segmento com o que pode ser utilizado no futuro, já que os artigos científicos são documentos que podem vir a se tornar patente daqui um tempo. Olhando para a tendência e para o seu caminho, verifica-se que a melhor tecnologia a ser utilizada para remediação de incrustação ainda é o inibidor químico. Os revestimentos e dispositivos ainda são menos utilizados e estudados por possuírem maior dificuldade de implantação em campo. Apesar dos estudos referentes a inibidores químicos ambientalmente amigáveis, como já dito, ainda existem estudos utilizando matérias primas convencionais, o que leva a pensar que mesmo existindo inúmeros produtos químicos a serem utilizados, o problema de forma geral ainda não está totalmente resolvido. Os estudos estão tentando encontrar um inibidor que possa resolver o inconveniente problema de incrustação e que também possa ser ambientalmente amigável. A dificuldade está no fato de existirem condições de campo diferentes em pontos do processo. Muitas vezes os estudos são realizados separadamente para diversos tipos de equipamentos e tubulações, já que cada um pode responder de forma diferente à formação da incrustação e a forma como o inibidor vai agir, tendo influência de fatores externos, como diferenças no escoamento do fluido.

REFERÊNCIAS

- AGENA. Disponível em: <<http://www.agenacom.br/>>. Acesso em: 25 set. 2020.
- AL-TAQ, A. A. et al. Organic/inorganic deposition in oil producing wells from carbonate reservoirs: Mechanisms, removal and mitigation. *Society of Petroleum Engineers - Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, ADIPEC 2015*, 2015.
- AL HELAL, A. et al. Evaluating chemical-scale-inhibitor performance in external magnetic fields using a dynamic scale loop. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 179, n. May, p. 1063–1077, 2019.
- AL NASSER, W. N. .; HENG, J. Y. Effect of silica nanoparticles to prevent calcium carbonate scaling using an in-situ turbidimetre. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 110, p. 98–107, 2015.
- ALABI, A. et al. Advances in Anti-scale Magnetic Water Treatment. *Environmental Science: Water Research & Technology*, v. 1, n. 4, p. 408–425, 2015.
- ALBRIGHT, R. E.; KAPPEL, T. A. Roadmapping in the corporation. *Research Technology Management*, v. 46, n. 2, p. 31–40, 2003.
- ALIMI, F. et al. Chemical Engineering and Processing : Process Intensification Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation : Influence of the pipe material. *Chemical Engineering and Processing*, v. 48, p. 1327–1332, 2009.
- ALJEBAN, N. et al. Systematic calcium carbonate scale risk evaluation from downhole to topside flowline. *Society of Petroleum Engineers - SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2020, APOG 2020*, 2020.
- ANDERSON, G. *Thermodynamics of natural systems*. 2. ed. Cambridge University Press, 2005.
- APPIO, J. et al. Análise Swot Como Diferencial Competitivo: Um Estudo Exploratório Na Cooperativa Muza Brasil. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, v. 3, n. 3, p. 1–18, 2009.
- AQUINO, A. S. *Avaliação de dispersantes aplicados em tratamento de água de torre de resfriamento*. 2018. 124f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 2018.
- BADER, M. Sulfate removal technologies for oil fields seawater injection operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 55, n. 1, p. 93–110, 2007.
- BAKER HUGHES. *ARQUEST 6115 scale inhibitor*. Disponível em: <www.bhge.com>. Acesso em: 25 set. 2020.
- BEZERRA, M. C. M.; ROSARIO, F. F.; ROCHA, A. A. Scale Prediction and Remediation

for Deep Water Fields. *SPE Oilfield Scale Symposium*, 2003.

BEZERRA, M. C. M.; ROSÁRIO, F. F.; ROSA, K. R. S. A. Scale Management in Deep and Ultradeep Water Fields. *Offshore Technology Conference - OTC 24508*, 2013.

BINMERDHAH, A. B.; YASSIN, A. A. M.; MUHEREI, M. A. Laboratory and prediction of barium sulfate scaling at high-barium formation water. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 70, p. 79–88, 2010.

BODYCOTE METALLURGICAL. Disponível em: <<https://www.bodycote.com/press-releases/bodycote-introduces-tech100-peek-tm-polymer-coating/>>. Acesso em: 25 set. 2020.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A. L. R. *Technology Roadmap – Planejamento Estratégico para alinhar Mercado-Produto-Tecnologia*. Rio de Janeiro, 2016.

BRAY, O. H.; GARCIA, M. L. Technology roadmapping: The integration of strategic and technology planning for competitiveness. *Innovation in Technology Management - The Key to Global Leadership, PICMET 1997: Portland International Conference on Management and Technology*, n. 5, p. 25–28, 1997.

VII SEMINÁRIO DE PESQUISA INTERDISCIPLINAR ,2012, Paraná. *Métodos , Técnicas E Ferramentas Para Inovação: Brainstorming No Contexto Da Inovação*.2015.

CARDOSO, L. R. DE A. et al. Prospecção de futuro e Método Delphi: uma aplicação para a cadeia produtiva da construção habitacional. *Ambiente Construído*, v. 5, n. 3, p. 63–76, 2005.

XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2012, Bento Gonçalves. *Literatura de technology roadmapping (TRM): contribuições e tendências*. 2012.

CARVALHO, M. M.; FLEURY, A.; LOPES, A. P. An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 80, n. 7, p. 1418–1437, 2013.

CAVALCANTI, G. H. et al. Double-pulse laser-induced breakdown spectroscopy analysis of scales from petroleum pipelines. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, v. 87, p. 188–191, 2013.

CHRISTIANI WASSERTECHNIK GMBH. *Vulcan - O sistema eletrônico anti-incrustação*. Disponível em: <www.cwt-international.com>. Acesso em: 14 out. 2020.

COELHO, G. M. et al. Caminhos para o desenvolvimento em prospecção tecnológica: Technology Roadmapping—um olhar sobre formatos e processos. *Parcerias Estratégicas*, v. 10, n. 21, p. 199–234, 2005.

COELHO, J. A. F.; BOTELHO JUNIOR, S.; TAHIM, E. F. Roadmap tecnológico: um estudo preliminar. *Revista Eletrônica de Ciência Administrativa*, v. 11, n. 2, p. 168–177, 2012.

COSTA, Z. S. et al. Influence of magnetic field on barium sulfate incrustation from aqueous solutions. *Heliyon*, v. 5, 2019.

- DALAS, E. The effect of ultrasonic field on calcium carbonate scale formation. *Journal of Crystal Growth*, v. 222, p. 287–292, 2001.
- EYAA ALLOGO, C. M.; RAVITZ, R.; NGUYEN, C. Unique Application of an Inhibitor to Mitigate Scale between Formation Water and Divalent-Base Drilling and Completion Fluids. *Society of Petroleum Engineers*, 2015.
- FERNANDES, I. G. M. et al. Planejamento estratégico: análise SWOT. *Revista Conexão Eletrônica*, v. 8, n. 1, p. 1464–1473, 2015.
- FERNANDES, R. S. et al. Experimental and theoretical investigation of a copolymer combined with surfactant for preventing scale formation in oil wells. *Journal of Molecular Liquids*, v. 318, 2020.
- FONTELLES, M. J. et al. Metodologia da Pesquisa Científica: diretrizes para elaboração de um protocolo de pesquisa. *Rev. para. med*, p. 8, 2009.
- GARCIA, M. L.; BRAY, O. H. Fundamentals of Technology Roadmapping. *Sandia National Laboratories*, 1997.
- GRAHAM, G. M.; BOAK, L. S.; HOB DEN, C. M. Examination of the effect of generically different scale inhibitor species (PPCA and DETPMP) on the adherence and growth of barium sulphate scale on metal surfaces. *Society of Petroleum Engineers - International Symposium on Oilfield Scale*, Aberdeen, UK, 2001.
- GUIMARAES, Z. et al. Case Histories of Barium Sulfate Scale Removal in Offshore Wells , Brazil , Using a New Engineered Combination of Coiled - Tubing Tools. *Society of Petroleum Engineers - SPE 107063*, 2007.
- GUO, X. et al. The synthesis of polyaspartic acid derivative PASP-Im and investigation of its scale inhibition performance and mechanism in industrial circulating water. *RSC Advances*, v. 10, n. 55, p. 33595–33601, 2020.
- HAMID, S. et al. A practical method of predicting calcium carbonate scale formation in well completions. *Society of Petroleum Engineers - SPE 166673*, 2013.
- HAN, Y. et al. Influence of alternating electromagnetic field and ultrasonic on calcium carbonate crystallization in the presence of magnesium ions. *Journal of Crystal Growth*, v. 499, p. 67–76, 2018.
- INOPETRO. *Inibidores de incrustação*. Disponível em: <<http://www.inopetro.com.br/produtos/inibidores-de-incrustacao/>>. Acesso em: 25 out. 2020.
- ITALMATCH CHEMICALS. Disponível em: <<https://www.italmatch.com>>. Acesso em: 25 set. 2020.
- KAMAL, M. S. et al. Oilfield scale formation and chemical removal: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 171, p. 127–139, 2018.
- KAPPEL, T. A. Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future. *The*

Journal of Product Innovation Management, v. 18, n. 1, p. 39–50, 2001.

KARTNALLER, V. et al. Application of multiple regression and design of experiments for modelling the effect of monoethylene glycol in the calcium carbonate scaling process. *Molecules*, v. 23, n. 4, p. 1–12, 2018.

KHORMALI, A.; SHARIFOV, A. R.; TORBA, D. I. Increasing efficiency of calcium sulfate scale prevention using a new mixture of phosphonate scale inhibitors during waterflooding. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 164, p. 245–258, 2018.

KOHLER, N.; COURBIN, G.; ROPITAL, F. Static and Dynamic Evaluation of Calcium Carbonate Scale Formation and Inhibition. *Society of Petroleum Engineers - SPE 68963*, 2001.

KOJIMA, Y.; YAMAGUCHI, K.; NISHIMIYA, N. Effect of amplitude and frequency of ultrasonic irradiation on morphological characteristics control of calcium carbonate. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 17, p. 617–620, 2010.

KOSTOFF, R. N.; SCALLER, R. R. Science and technology roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 48, n. 2, p. 132–143, 2001.

KOSTOGLU, M.; KARABELAS, A. J. J. Comprehensive Modeling of Precipitation and Fouling in Turbulent Pipe Flow. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, v. 37, n. 4, p. 1536–1550, 1998.

KUMAR, S.; NAIYA, T. K.; KUMAR, T. Developments in oilfield scale handling towards green technology-A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 169, p. 428–444, 2018.

KUMAR, T.; VISHWANATHAM, S.; KUNDU, S. S. A laboratory study on pteroyl-l-glutamic acid as a scale prevention inhibitor of calcium carbonate in aqueous solution of synthetic produced water. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 71, n. 1–2, p. 1–7, 2010.

LEE, H. et al. A comparative study of RO membrane scale inhibitors in wastewater reclamation : Antiscalants versus pH adjustment. *Separation and Purification Technology*, v. 240, 2020.

LETABA, P.; PRETORIUS, M. W.; PRETORIUS, L. Technology roadmapping and roadmaps in a context of developing countries: A conceptual framework. *IAMOT 2015 - 24th International Association for Management of Technology*, p. 203–216, 2015.

LIMA, S. H. DE O.; LEOCÁDIO, Á. L. Mapeando a Produção Científica Internacional Sobre Inovação Aberta. *Revista Brasileira de Gestão e Inovação*, v. 5, n. 2, p. 181–208, 2018.

LIU, G. et al. Double-hydrophilic block copolymer as an effective and green scale inhibitor in industrial recycling water systems. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 17, n. 4, p. 1193–1200, 2017.

LOPES JÚNIOR, E. P.; TAVARES, L. E. DOS S.; PESSOA, A. V. B. M. Roadmap Tecnológico: proposta de uma métrica para levantamento de demandas e ofertas tecnológicas.

Parc. Estrat., v. 16, n. 33, p. 281–296, 2011.

LOUREIRO, A. M. V. *O emprego do método Technology Roadmapping em adesivos e selantes aplicados à construção civil*. 2010. 331f. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MACADAM, J.; PARSONS, S. A. Calcium carbonate scale formation and control. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, v. 3, p. 159–169, 2004.

MACHADO, R. H. C.; HELLENO, A. L.; SIMON, A. T. Estudo Bibliométrico da Produção Científica Internacional Sobre DES Aplicado à Logística. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 19, n. 38, p. 17–31, 2016.

MADY, M. F.; FEVANG, S.; KELLAND, M. A. Study of Novel Aromatic Aminomethylenephosphonates as Oilfield Scale Inhibitors. *Energy and Fuels*, v. 33, n. 1, p. 228–237, 2019.

MADY, M. F.; MALMIN, H.; KELLAND, M. A. Sulfonated Nonpolymeric Aminophosphonate Scale Inhibitors - Improving the Compatibility and Biodegradability. *Energy and Fuels*, v. 33, n. 7, p. 6197–6204, 2019.

MARQUES, L. C. C. et al. How Petrobras Has Faced Oilfield Scale Problems: Evolution of Concepts and Lessons Learned in Campos Basin, Brazil. *Society of Petroleum Engineers, SPE International Symposium on Oilfield Scale*, Aberdeen, UK, p. 30–31, 2001.

MARQUES, R. T. M. *Investigação experimental de inibidores físicos na precipitação de carbonato de cálcio em tubulações*. 2015. 97f. Dissertação de mestrado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

MARTINS, A. L. et al. Large scale laboratory tests for carbonate scaling in sliding sleeve valves. *Society of Petroleum Engineers*, 2020.

MOGHADASI, J. et al. Scale Formation in Oil Reservoir and Production Equipment during Water Injection (Kinetics of CaSO₄ and CaCO₃ Crystal Growth and Effect on Formation Damage). *Society of Petroleum Engineers*, 2003.

MONTALVÃO, V. T. *Avaliação da influência do uso de inibidores de hidratos no processo de incrustação de carbonato de cálcio em sistema dinâmico pressurizado*. 2018. Tese de doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

NEI CORPORATION. Disponível em: <https://neicorporation.com/brochures/SuperCN_Brochure_v.E6.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.

NISHIDA, I. Precipitation of calcium carbonate by ultrasonic irradiation. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 11, p. 423–428, 2004.

NOV. Disponível em: <<https://www.nov.com/about/our-business-units/fiber-glass-systems>>. Acesso em: 26 set. 2020.

NOVA COATING. Disponível em: <www.novacoating.com.br>. Acesso em: 24 set. 2020.

OERLIKON BLAZERS. Disponível em: <<https://www.oerlikon.com>>. Acesso em: 25 set. 2020.

OLIVEIRA, M. G. DE et al. *Roadmapping – Uma abordagem estratégica para o gerenciamento da inovação em produtos, serviços e tecnologias*. 1ª ed. 208p. 2012.

PERVOV, A. G. et al. Determination of the effectiveness of new green scale inhibitors for reverse osmosis. *Petroleum Chemistry*, v. 56, n. 10, p. 936–947, 2016.

PERVOV, A. G.; ANDRIANOV, A. P.; DANILYCHEVA, M. N. Preliminary evaluation of new green antiscalants for reverse osmosis water desalination. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 18, n. 1, p. 167–174, 2018.

PETROBRAS. *Pré-sal*. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/>>. Acesso em: 3 maio. 2020.

PETROLAB. Disponível em: <<https://www.petrolab.com.br>>. Acesso em: 25 set. 2020.

PHAAL, R. Public-Domain Roadmaps. *IfM- University of Cambridge*, , 2011.

PHAAL, R.; FARRUKH, C. J. P.; PROBERT, D. R. Technology roadmapping: a planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting & Social Change*, n. 71, p. 5–26, 2004.

PRAÇA, F. S. G. Metodologia da pesquisa científica: Organização estrutural e os desafios para redigir o trabalho de conclusão. *Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos*, v. 08, n. 1, p. 72–87, 2015.

PROBERT, D. R.; FARRUKH, C. J. P.; PHAAL, R. Technology roadmapping - developing a practical approach for linking resources to strategic goals. *Journal of Engineering Manufacture*, v. 9, n. 9, p. 1183–1195, 2003.

QIAN, H. et al. Anti-scaling of superhydrophobic poly(vinylidene fluoride) composite coating: Tackling effect of carbon nanotubes. *Progress in Organic Coatings*, v. 142, n. November 2019, 2020.

QUONIAM, L.; KNIES, C.; MAZIERI, M. Patente como objeto de pesquisa em Ciências da Informação e Comunicação. *Revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, v. 19, p. 243–268, 2014.

REBESCHINI, J. *Avaliação de Aditivos Químicos para Dissolver Incrustação Inorgânica de Sulfato de Bário em Poços de Petróleo*. 2010. 136f. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

REIS, M. I. P. et al. Deposição mineral em superfícies: problemas e oportunidades na indústria do petróleo. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 1, p. 2–13, 2011.

RICHEY, J. M.; GRINNELL, M. Evolution of roadmapping at Motorola. *Research*

Technology Management, v. 47, n. 2, p. 37–41, 2004.

ROCHA, A. A. *Prevenção de incrustações inorgânicas na exploração petrolífera off-shore: Aspectos analíticos e aplicações do inibidor PPCA*. Tese de doutorado - Centro Técnico Científico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

RODRIGUES, T. F. M. *Formação de depósitos de CaCO_3 sobre superfícies revestidas com nanocompósitos de matriz epóxi com adição de nanopartículas de SiO_2* . Dissertação de mestrado - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Nanotecnologia, 2016.

SANTANA, C. J.; MANZELA, A. A. Incrustações Inorgânicas em Campos do Pré-Sal. *Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana*, v. 4, p. 22–31, 2016.

SANTOS, T. N. DOS. *Avaliação de inibidores de incrustação em unidade removedora de sulfato*. 2007. 111f. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SCHLUTER, H. E. *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*. 2014. Tese de doutorado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

SHAWCOR. Disponível em: <<https://www.shawcor.com/>>. Acesso em: 25 set. 2020.

SIMONIČ, M.; URBANCL, D. Alternating magnetic field influence on scaling in pump diffusers. *Journal of Cleaner Production*, v. 156, p. 445–450, 2017.

SOLENIS. Disponível em: <<https://solenis.com/pt/>>. Acesso em: 25 set. 2020.

SOUZA, P. A. F. DE. *Elaboração do Mapa Tecnológico (Technology Roadmap) para Fertilizantes Suportados de Liberação Lenta ou Controlada*. Dissertação de mestrado - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

STRATEGY, A. *Roadmaps and Roadmapping Technology Futures Strategy*. Disponível em: <<http://www.albrightstrategy.com/roadmap.html>>. Acesso em: 1 maio. 2020.

CHARPENTIER, T. V. J. et al. Evaluation of Anti-fouling Surfaces for Prevention of Mineral Scaling in Sub-surface Safety Valves. *SPE International Oilfield Scale Conference and Exhibition*, 2014.

TANTAYAKOM, V. et al. Scale inhibition study by turbidity measurement. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 284, p. 57–65, 2005.

THOMAS, J. E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

TOMSON, M. B. et al. Mechanisms of mineral scale inhibition. *Society of Petroleum Engineers - International Symposium on Oilfield Scale*, Aberdeen, UK, 2002.

VAZIRIAN, M. et al. Surface inorganic scale formation in oil and gas industry: as adhesion and deposition processes. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, n. 137, p. 22–32, 2016.

CHEONG, W. C. Substrate effect on surface adhesion/crystallisation of calcium carbonate. *Journal of Crystal Growth*, v. 363, p. 7–21, 2013.

WANG, Q. et al. Laboratory study on efficiency of three calcium carbonate scale inhibitors in the presence of EOR chemicals. *Petroleum*, v. 4, n. 4, p. 375–384, 2018.

YAN, F. et al. Barite scale formation and inhibition in laminar and turbulent flow : A rotating cylinder approach. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 149, p. 183–192, 2017.

ANEXO A – Documentos de patentes solicitadas e concedidas consultados, mas não referenciados no trabalho.

Tabela 12 – Tabela contendo os documentos de patentes solicitadas e patentes concedidas utilizados no trabalho (continua).

TITLE	INVENTOR	APPLICANT	PUBLICATION INFO	APLICAÇÃO/PUBLICAÇÃO/CONCESSÃO	PEDIDO OU PATENTE	TECNOLOGIA
Oilfield chemical scale inhibitor, preparation method and application thereof	LIU AIHUA; ZHOU ZHIPING; LI QIONGWEI; YUAN HUIYING; LIU NING; JIANG YI; DONG JUN; YANG HUILI	PETROCHINA CO LTD	CN112079455 (A) 2020-12-15	2020/2020/	Pedido	Inibidor
Scale inhibitor composition, scale inhibitor and preparation method of scale inhibitor	YIYONGGANG; SHI SHANZHI; TIAN GANG; LIU CONGPING; YU HUIYONG; ZENG DEZHI; TONG HANG; CHEN YUXIN; SUN YICHENG; WANG LIANG; WANG LIRONG; HE LI	PETROCHINA CO LTD	CN111217459 (A) 2020-06-02	2018/2020/	Pedido	Inibidor

Corrosion and scale inhibitor and preparation method thereof	YAN XUANQI; DU QINGZHEN; XIE GANG; JIANG WEIQI; SHANG FANG; WEI AIJUN; ZHANG WEI; GAO NAIXU; LI MENGYAO; LIU ZHIGANG	PETROCHINA CO LTD	CN109837544 (A) 2019-06-04	2017/2019/	Pedido	Inibidor
Metal scale inhibitor	WANG GESHENG	WANG GESHENG	CN109665635 (A) 2019-04-23	2017/2019/	Pedido	Inibidor
Environment-friendly multifunctional scale inhibitor and preparation method and application thereof	LU JIANPING; LI YI; SHEN YANBIN; WANG JIA; SI WEI; ZHOU YU; XIE YUAN	SHAANXI RESEDESIGN INSTPETROLEUMCHEMICAL IND	CN108751446 (A)2018-11-06	2018/2018/	Pedido	Inibidor

Oil soluble non-phosphorus corrosion and scale inhibitor for oil field and preparation method thereof	WANG WEIHUA; ZHANG YU; LONG YONGFU; XU YANLI; WANG TAO; ZHANG WENLAI; LI HAIYAN; LIU XIUHUA; GAO TING; BAI CHUAN; WU QIYUAN	PETROCHINA CO LTD	CN107555621 (A) 2018-01-09 CN107555621 (B) 2020-07-10	2017/2018/2020	Patente	Inibidor
Chelate blocking remover suitable for complicated scaling reservoir layers, and preparation method of chelate blocking remover	WAN XIANGHUI; JIANG WENXUE; LI YONG; WU ZENGZHI; WANG XIAOYU; JIN NA; WANG KUN; LI SHAN; MA TUO; LI WENBIN; LI XUE; XU WEIXING	CNPC CHUANQING DRILLING ENG COMPANY LTD ENG TECH RES INST	CN106867490 (A) 2017-06-20 CN106867490 (B) 2019-11-08	2017/2017/2019	Patente	Agente de liberação de obstrução quelante

Plugging slurry for fractured reservoir and temporary plugging and unplugging method for fractured reservoir	ZHANG HAO; SHAO ZHENBIN; LI KAI; ZHONG YING	UNIV CHENGDU TECHNOLOGY	CN105154046 (A)2015-12-16	2015/2015/	Pedido	Inibidor
Apparatus for Treating Fluids	MCGUIRE DENNIS [US]	ECOSPHERE TECHNOLOGIES INC [US]	US2015291454 (A1) 2015-10-15 US9266752 (B2) 2016-02-23	2015/2015/2016	Patente	Dispositivo físico
Stabilized Pipe Scaling Remover and Inhibitor Compound	GONZALEZ DAVILA VICENTE [MX]; SUAREZ DOMINGUEZ EDGARDO JONATHAN [MX]	GONZALEZ DAVILA VICENTE [MX]; SUAREZ DOMINGUEZ EDGARDO JONATHAN [MX]; GEO ESTRATOS S A DE C V [MX]	US2014066351 (A1) 2014-03-06 US9085748 (B2) 2015-07-21	2012/2014/2015	Patente	Inibidor
PROCESS FOR TREATING FLUIDS	MCGUIRE DENNIS [US]; JAKHETE SANJEEV [US]	MCGUIRE DENNIS [US]; JAKHETE SANJEEV [US]	US2013327720 (A1) 2013-12-12 US8968577 (B2) 2015-03-03	2012/2013/2015	Patente	Dispositivo físico

Brine pipeline scale inhibitor, and use and application method thereof	ZENGAN MING	ZENGAN MING	CN102795713 (A) 2012-11-28 CN102795713 (B) 2014-03-12	2012/2012/2014	Patente	Inibidor
Polyaspartic acid complex for scale inhibitor	CHEN ZHENG	HUZHOU XINHE ENVIRONMENT SCIENCE & TECHNOLOGY CO LTD	CN102146161 (A)2011-08-10 CN102146161 (B)2015-03-04	2010/2011/2015	Patente	Inibidor

Fonte: O autor, 2021.

ANEXO B – Documentos de artigos científicos consultados, mas não referenciados no trabalho.

Tabela 13 – Tabela contendo os documentos de artigos científicos utilizados no trabalho (continua).

TÍTULO	AUTOR	ANO	TECNOLOGIA
Inhibition of nucleation and crystal growth of calcium carbonate in hard waters using Paronychia Arabic in an arid desert region	Karar, A., Henni, A., Namoune, F., Rosei, F.	2020	Inibidor
Corrosion and scaling in water systems in the petroleum refining industry and the oilfield industry	Gazdzik, B.	2020	Inibidor
Experimental and theoretical investigation of a copolymer combined with surfactant for preventing scale formation in oil wells.	Fernandes, R.S., Beserra, N.L.R., Souza, M.A.F., Lima, D.F., Castro, B.B., Balaban, R.C.	2020	Inibidor
Effect of pH on the efficiency of sodium hexametaphosphate as calcium carbonate scale inhibitor at high temperature and high pressure.	de Morais, S.C., de Lima, D.F., Ferreira, T.M., Domingos, J.B., de Souza, M.A.F., Castro, B.B., Balaban, R.D.C.	2020	Inibidor
Environmentally Friendly Phosphonated Polyetheramine Scale Inhibitors – Excellent Calcium Compatibility for Oilfield Applications	Mady, M.F., Bayat, P., Kelland, M.A.	2020	Inibidor

Anti-scaling of superhydrophobic poly(vinylidene fluoride) composite coating: Tackling effect of carbon nanotubes	Qian, H., Zhu, M., Song, H., Wang, H., Liu, Z., Wang, C.	2020	Revestimento
Eletromagnetic Prevention of scaling in oil production	S.R. Alimbekova, R.N. Bakhtizin, V.A. Dokichev	2020	Dispositivo físico
Study on removing calcium carbonate plug from near wellbore by high-power ultrasonic treatment	Xin Zhang, Cong Zang, Hailing Ma, Zhenjun Wang	2020	Dispositivo físico
Systematic calcium carbonate scale risk evaluation from downhole to topside flowline	Aljeban, N., Al-Harbi, B., Chen, T., Balharth, S.	2020	Inibidor
Iron carbonate scale inhibitor selection for low-permeability, high-temperature, low-pressure, and low water-cut gas wells in Chalk formation	Al-Ghamdi, T., Chen, P., Hagen, T., Hamam, M., Shakeel, M.	2020	Inibidor
Large scale laboratory tests for calcium carbonate scaling in sliding sleeve valves	A. L. Martins; H.F.L. Santos; B.B. Castro; A.S. Gonçalves; D.A. Maffra; J.B.R. Loureiro	2020	Dispositivo físico
Modelling the impact of alkaline-surfactant and alkaline-surfactant-polymer flooding processes on scale precipitation and management	Al Kalbani, M.M., Jordan, M.M., Mackay, E.J., Sorbie, K.S., Nghiem, L.X.	2020	Inibidor
Robust superhydrophobic 1D Ni ₃ S ₂ nanorods coating for self-cleaning and anti-scaling	Yin, X., Yu, S., Bi, X., Liu, E., Zhao, Y.	2019	Revestimento
Liquid smoke of coconut shell as green inhibitor of calcium carbonate scale formation	Suharso, Setiososari, E., Kiswandono, A.A., Buhani, Satria, H.	2019	Inibidor
Calcite deposition kinetics and the effect of phosphonate and carboxylate inhibitors at 150°C	Harouaka, K., Kan, A.T., Tomson, M.	2019	Inibidor

Evaluating chemical-scale-inhibitor performance in external magnetic fields using a dynamic scale loop	Ammar Al Helal; Adam Soames; Stefan Iglauer; Rolf Gubner; Ahmed Barifcani	2019	Inibidor e dispositivo físico
Sulfonated Nonpolymeric Aminophosphonate Scale Inhibitors – Improving the Compatibility and Biodegradability	Mady, M.F., Malmin, H., Kelland, M.A.	2019	Inibidor
A novel antiscaling and anti-corrosive polymer-based functional coating	Chen, X., Wang, H., Wang, C., Zhang, W., Lv, C., Zhu, Y.	2019	Revestimento
Assessment of a low-frequency ultrasound device on prevention of biofilm formation and carbonate deposition in drinking water systems	Laurence Mathieu; Anais Keraval; Nico F. Declercq; Jean-Claude Block	2019	Dispositivo físico
Study of Novel Aromatic Aminomethylenephosphonates as Oilfield Scale Inhibitors	Mady, M.F., Fevang, S., Kelland, M.A.	2019	Inibidor
Antifouling properties of layer by layer DNA coatings	Subbiahdoss, G., Zeng, G., Aslan, H., Ege Friis, J., Iruthayaraj, J., Zelikin, A.N., Meyer, R.L.	2019	Revestimento
A new approach to testing scale inhibitors in mild scaling brines – are dynamic scale loop tests needed?	Barber, M., Heath, S.	2019	Inibidor
Developing a polymer scale inhibitor for a combined fracture and inhibitor squeeze treatment for high-temperature reservoirs.	Chen, P., Rawlins, S., Hagen, T., Huijgen, M., Zhiwei Yue, D., Hamam, M., El Hajj, H., Al-Ghamdi, T.	2019	Inibidor

A novel technology for providing long term scale prevention in na Alaskan North slope waterflood	Bond, A., Palisch, T., Leasure, J.	2019	Inibidor
Laboratory study on efficiency of three calcium carbonate scale inhibitors in the presence of EOR chemicals	Wang, Q., Liang, F., Al-Nasser, W., Al-Dawood, F., Al-Shafai, T., Al-Badairy, H., Shen, S., Al-Ajwad, H.	2018	Inibidor
Overcoming Interfacial Scaling Using Engineered Nanocelluloses: A QCM-D Study	Sheikhi, A., Olsson, A.L.J., Tufenkji, N., Kakkar, A., Van De Ven, T.G.M.	2018	Inibidor e revestimento
Influence of alternating electromagnetic field and ultrasonic on calcium carbonate crystallization in the presence of magnesium ions	Yong Han; Chuanxin Zhang; Leichao Wu; Qianrui Zhang; Lin Zhu; Ruikuan Zhao	2018	Dispositivo ffsico
Synthesis and performance evaluation of ma/amps/apeg as scale inhibitor for calcium carbonate	Quan, H., Xie, L., Rao, Z., He, F., Tang, K.	2018	Inibidor
Synthesis and Characterization of Modified Aliphatic Polycarbonates as Environmentally Friendly Oilfield Scale Inhibiotrs	Mady, M.F., Charoensumran, P., Ajiro, H., Kelland, M.A.	2018	Inibidor
Influence of magnetic fields on calcium carbonate scaling in aqueous solutions at 150 °C and 1 bar	Ammar Al Helal; Adam Soames; Rolf Gubner; Stefan Iglauer; Ahmed Barifcani	2018	Dispositivo ffsico
Recent experience in squeeze treating huff and puff wells for control of steamflood generated calcium carbonate scale	Thornton, A., Belhimer, Y., Smith, I., Subramaniyan, A.	2018	Inibidor

A novel evaluation of scale inhibitor performance against calcium carbonate scaling in the presence of iron sulfide	Russek, J., Flores, N., Brooks, J.	2018	Inibidor
Evaluation of the scaling resistance of different coating and material for thermal operations	Fattahpour, V., Mahmoudi, M., Roostaei, M., Cheung, S., Gong, L., Qiu, X., Huang, J., Velayati, A., Kyanpour, M., Alkough, A., Strom, R., Fermaniuk, B., Zeng, H., Luo, J.-L.	2018	Revestimento
Application of multiple regression and design of experiments for modelling the effect of monoethylene glycol in the calcium carbonate scaling process	Kartnaller, V., Venâncio, F., do Rosário, F.F., Cajaiba, J.	2018	Inibidor
Rational design of molecularly engineered biomimetic threshold scale inhibitors	Sheikhi, A., Li, N., Mejlsøe, S.L., Bomal, E., Van De Ven, T.G.M., Kakkar, A.	2018	Inibidor
Formation damage assessment and adsorption/desorption profile of new phosphonate-based scale inhibitor at 350°F	Al-Aamri, J., Al-Dahlan, M., Al-Yami, I., Hazzazi, H.	2018	Inibidor
Scale formation and inhibition study for water injection wells	Wang, W., Wei, W., Ferrier, N., Arismendi, N.	2018	Inibidor
Preparation and Antiscaling Performance of Superhydrophobic PPS/PTFE Composite Coating	Qian, H., Zhu, Y., Wang, H., Song, H., Wang, C., Liu, Z., Li, H.	2017	Revestimento
Fuzzy control of calcium carbonate and silica scales in geothermal systems	Tut Haklidir, F., Haklidir, M.	2017	Inibidor

Synthesis and performance evaluation of PAMAM-COONa: A case study of Block Huaziping of Changging oilfield	Su, G., Luo, Y., Li, F., Fan, C., Zhan, Z., Liu, L.	2017	Inibidor
A study on Various Readily-Available Proteins as New Green Scale Inhibitors for oilfield scale control	Mady, M.F., Kelland, M.A.	2017	Inibidor
Research on growth behavior of calcium carbonate scale by electrochemical quartz crystal microbalance	Tang, J., Cao, D., Wang, Y., Mohamad, C., Chen, L., Wang, H.	2017	Inibidor
Optimization of scale treatment program of a CO2 water-alternating-gas system for enhanced oil and gas production	Lu, H., Stewart, P., Jones, D., Penkala, J., Brooks, J.	2017	Inibidor
Identification and cost effective mitigation of calcium carbonate scaling in gas field - A typical case study in Niger delta	Abuah, N.L., Olugbenga, D., Adam, S.M., Chiejina, L., Bamidele, T., Onuigbo, N.C., Stella, E., Florence, I.-O., Onyedikachi, O., Bassey, I., Noah, E., Igban, K.	2017	Inibidor
Thin ceramic coatings and their suitability towards scale reduction in heat exchangers	Santos, O., Nilsson, M., Jensen, A.H., Christiansen, A.B.	2017	Revestimento
Development and operational implementation of scale management strategy in a mature field	Tiwari, A., Fartiyal, P., Malik, A., Sharma, N., Manickavasagam, C., Lele, S., Sharma, A., Sabhapondit, A.	2017	Inibidor
Integrity management of oil wellheads and flowlines having scaling	Al-Shamari, A.R., Kuthe, S., Al-Sulaiman, S., Londhe, S.	2017	Inibidor

Detecting the best electromagnetic field intensity in experiment of electromagnetic anti-fouling based on metastable zone	Wang, J., Li, B., Liang, Y., Yin, Z., Chen, S.	2016	Dispositivo físico
A stable hierarchical superhydrophobic coating on pipeline steel surface with self-cleaning, anticorrosion, and anti-scaling properties	Li, H., Yu, S., Han, X., Zhao, Y.	2016	Revestimento
Studies on the scaling pattern of calcium carbonate and the influence of scale inhibitor by using electrochemical quartz crystal microbalance technique	Wang, H., Chen, L., Tang, J., Wang, X., Duan, M.	2016	Inibidor
CaCO ₃ scaling of oilfield produced water in “electrochemical pre-oxidation–coagulation sedimentation–filtration” process: reason, mechanism, and countermeasure	Wang, J., Gao, X., Li, Z., Wang, Y., Gao, C.	2016	Inibidor
Limitations of common oilfield scale inhibitor chemistries	Fraser, A., Davidson, J., Feasey, N., Jenkins, A.	2016	Inibidor
Effect of sodium-carboxymethylcellulose on inhibition of scaling by calcium carbonate and sulfate	Fakhreeva, A.V., Gusakov, V.N., Voloshin, A.I., Tomilov, Y.V., Nifant'ev, N.E., Dokichev, V.A.	2016	Inibidor
Carbohydrates - A new class of 'green' scale inhibitors	Dokichev, V.A., Koptyaeva, E.I., Ishmuratov, F.G., Alimbekova, S.R., Tomilov, Yu.V., Nifant'yev, N.E.	2016	Inibidor
Evaluation of β -cyclodextrin-polyethylene glycol as green scale inhibitors for produced-water in shale gas well	Liu, Y., Zou, C., Li, C., Lin, L., Chen, W.	2016	Inibidor

Development of improved chemical formulations for scale control for alkaline surfactant polymer flood in a seawater flooded reservoir	Bt Alwi, N., Bt Salleh, I.K., Ibrahim, J.M., Carpenter, I., Dyer, S.J., Simpson, C., Frigo, D.M., Graham, G.M.	2016	Inibidor
Effect of silica nanoparticles to prevent calcium carbonate scaling using an in situ turbidimetre	Al Nasser, W.N., Shah, U.V., Nikiforou, K., Petrou, P., Heng, J.Y.Y.	2016	Inibidor
Surface inorganic scale formation in oil and gas industry: As adhesion and deposition processes	Vazirian, M.M., Charpentier, T.V.J., de Oliveira Penna, M., Neville, A.	2016	Revestimento
Study of the inhibition effect of two polymers on calcium carbonate formation by fast controlled precipitation method and quartz crystal microbalance	Peronno, D., Cheap-Charpentier, H., Horner, O., Perrot, H.	2015	Inibidor
Liquid infused porous surfaces for mineral fouling mitigation	Charpentier, T.V.J., Neville, A., Baudin, S., Smith, M.J., Euvrard, M., Bell, A., Wang, C., Barker, R.	2015	Revestimento
Assess of physical antiscaling-treatments on conventional electro dialysis pilot unit during brackish water desalination	Ilhem Ben Salah Sayadi, Philippe Sstat, Mohamed Mouldi Tlili	2015	Dispositivo físico
Effect of six kinds of scale inhibitors on calcium carbonate precipitation in high salinity wastewater at high temperatures	Li, X., Gao, B., Yue, Q., Ma, D., Rong, H., Zhao, P., Teng, P.	2015	Inibidor
Effects of permanent magnetic field on calcium carbonate scaling of circulating water	Lili Jiang, Jianliang Zhang, Dongkui Li	2015	Dispositivo físico

Prevention of calcium carbonate precipitation during water injection into high-pressure high-temperatures wells	Khormali, A., Petrakov, D.G., Lamidi, A.-L.B., Rastegar, R.	2015	Inibidor
Unique application of an inhibitor to mitigate scale between formation water and divalent-base drilling and completion fluids	Eyaa Allogo, C.M., Ravitz, R., Nguyen, C.	2015	Inibidor
Scale squeeze fractured reservoirs in the Bakken, North Dakota	Cook, S., Lu, H., Cutler, J., Haugen, C., Cenegy, L., McAfee, C.	2015	Inibidor
Synthesis and scale inhibition performance of modified polyethylene succinic acid derivatives	Liu, X., Wang, X., Sun, C., Song, Z., Han, L., Wang, Q., Wu, W.	2015	Inibidor
Combination package development of scale inhibitors and hydrogen sulfide scavengers for sour gas production in barnett shale	Peng, Y., Shi, L., Yue, Z., Fan, C.	2015	Inibidor
Water-soluble anhydride containing alternating copolymers as scale inhibitors	Can, H.K., Üner, G.	2015	Inibidor
A Bohai sea SZ36-1 oil field formation scaling experimental study and scale inhibitor optimization	Yi, T., Jin, Z., Chuan-Li, X., Wei-Ying, W.	2014	Inibidor
A comprehensive factorial design study of variables affecting CaCO ₃ scaling under magnetic water treatment	Fathi Alimi, Ali Boubakri, Mohamed M. Tlili, Mohamed Bem Amor	2014	Dispositivo físico
Scale removal with ultrasonic waves	Hartwig Kunanz, Sylvia Wolfel	2014	Dispositivo físico
Synthesis and properties of a MEAS quadripolymer scale inhibitor	Yu, L., Wang, B., Sun, X., Song, J.	2014	Inibidor

Study of nano-surfactant composition for inhibition of scaling process during oil and gas production	Mursalova, M.A., Shahbazov, E.K.	2014	Inibidor
Scaling mechanism and descaling measures in the reinjection system of the Qiongxì Gas Field, Sichuan Basin	Zhao, Q., Wang, K., Zhou, J., Zhang, Y., Wang, K.	2014	Inibidor
Influence of calcium and bicarbonate ions on the kinetics of CaCO ₃ formation at high temperature in the absence and presence of scale inhibitors	Xu, B., Tao, C., Chen, P., Montgomerie, H., Hagen, T., Guo, Q., Yang, X.	2014	Inibidor
Evaluation of anti-fouling surfaces for prevention of mineral scaling in sub-surface safety valves	Charpentier, T.V.J., Neville, A., Baraka-Lokmane, S., Hurtevent, C., Ordonez-Varela, J.-R., Nielsen, F.M., Eroini, V., Olsen, J.H., Ellingsen, J.A., Bache, Ø.	2014	Revestimento
A systematic scale-corrosion study of a combined inhibitor in scale-corrosion environment via experimental design	Ciolkowski, M., Neville, A.	2014	Inibidor
Field-detectable scale inhibitor for severe oilfield environments	Schilter, R.D., Yang, C., Hill, M.E., Watson, W.P., Almond, S.W.	2014	Inibidor
Mechanisms, new test methodology and environmentally acceptable inhibitors for co-deposition of zinc sulfide and calcium carbonate scales for high temperature application	Tortolano, C., Chen, T., Chen, P., Montgomerie, H., Hagen, T., Benvie, R., Zou, L.	2014	Inibidor

Lime repellent polyethylene additives	Konstantin Siegmann, Robert Sterchi, Roland Widler, Martina Hirayama	2013	Revestimento
Effect of HPAM on calcium carbonate crystallization	Jing, G., Tang, S., Li, X.	2013	Inibidor
Monitoring of aggregation and scaling of calcium carbonate in the presence of ultrasound irradiation using focused beam reflectance measurement	Waleed N. Al Nasser, Kate Pitt, Michael J. Hounslow, Agba D. Salman	2013	Dispositivo físico
MA/AA/AM/AMPS quadripolymer inhibitor for sulphate and carbonate scales	Mou, J., Li, X.-R., Fei, G.-Q., Wang, H.-H., Shui, X.-J., Yang, S.-S.	2013	Inibidor
Dynamic laboratory research on synergistic scale inhibition effect of composite scale inhibitor and efficient electromagnetic anti-scaling instrument	Jing, G., Li, X.	2013	Inibidor e dispositivo físico
Field study of the physical and chemical factors affecting downhole scale deposition in the North Dakota Bakken formation	Cenegy, L.M., McAfee, C.A., Kalfayan, L.J.	2013	Inibidor
Utilizing chelating agent system fluid to remove scale buildup from stuck ESP shaft in offshore Saudi Arabia	Ai Zahrani, A.R., Ai Shinaiber, F.A., Ai Omalren, K.I., Nuriakhmetov, R., Gurmen, M.N.	2013	Inibidor
Carbonate scale formation and inhibition in the presence of zinc ions	Wang, Q., Al-Dawood, F., AlSaiari, H.	2012	Inibidor
Qualification of scale and corrosion inhibitor for a subsea HPHT field with a MEG-loop	Koren Halvorsen, A.M., Skar, J.I., Reiersølmoen, K.	2012	Inibidor

Surface scaling in the oil and gas sector: Understanding the process and means of management	Neville, A.	2012	Inibidor
Case study: Calcium carbonate scale inhibitor performance degradation due to H ₂ S scavenger injection in Semoga field	Sumestry, M., Tedjawidjaja, H.	2012	Inibidor
Downhole chemical injection lines - Why do they fail? Experiences, challenges and application of new test methods	Hustad, B.M., Sveta, O.G., Olsen, J.H., Ramstad, K., Tjomslund, T.	2012	Inibidor
Treatment measures on scale formation of ASP flooding	Lanlan Yu, Baohui Wang, Xurui Sun	2012	Dispositivo físico
Treatment measures on scale forming in oilfield pipeline	Lanlan Yu, Baohui Wang, Wenbo Ji	2011	Dispositivo físico
Assessment of combined scale/corrosion inhibitors - A combined jar test/bubble cell	Sanders, L., Neville, A., Hu, X., Mavredaki, E., Eroini, V., Barker, R.	2011	Inibidor
A novel stimulation approach for scale control in Marrat Carbonate reservoir - Case studies from Joint Operations, PZ Kuwait	Al-Ghamdi, S., Al-Najim, A., Bouyabes, A., Al-Hadyani, F.S., Nugraha, I., Hamid, S.	2011	Inibidor
Development of environmentally friendly calcium carbonate scale inhibitor for HTHP squeeze application in the oil and gas field water treatment	Chen, T., Chen, P., Montgomerie, H., Hagen, T., Ekpeni, H.	2011	Inibidor
High performance maleic acid based oil well scale inhibitors- Development and comparative evaluation	Senthilmurugan, B., Ghosh, B., Sanker, S.	2011	Inibidor
Evaluation of surfactant-organic phosphonate combination's anti-scaling property	Yuan, B., Han, L., Shan, L., Rang, X., Ge, J.	2011	Inibidor

Scale formation prevention during ASP flooding	Karazincir, O., Thach, S., Wei, W., Prukop, G., Malik, T., Dwarakanath, V.	2011	Inibidor
Comparison of scale-inhibiting properties of polyaspartic acid, polyacrylic acid and 2-phosphonobutane-1, 2, 4-tricarboxylic acid	Qin, H.-H., Li, C.-T., Liu, H., Zhang, W., Zeng, G.-M., Gao, H.-L., Li, H.-L.	2010	Inibidor
A laboratory study on pteroyl-l-glutamic acid as a scale prevention inhibitor of calcium carbonate in aqueous solution of synthetic produced water	Kumar, T., Vishwanatham, S., Kundu, S.S.	2010	Inibidor
Development and application of a scale inhibitor for electrical submersible pumps suitable for very cold weather	Linares-Samaniego, S., Spicka, K.	2010	Inibidor
Scale inhibitor application in Northern Alberta: A case history of an ultra high temperature scale inhibition solution in fire tube heater treaters	Wylde, J.J., McMahon, J., Mayner, S.	2010	Inibidor
EQCM evaluation of the synergetic effect of polymer and scale inhibitor in Oilfield Brine	Duan, M., Wang, H., Xie, J., Fang, S.-W., Guo, H.-J.	2009	Inibidor
Development of new environmentally friendly scale inhibitors for extending squeeze lifetimes	Heath, S., Archibald, M., Strachan, C., Wilkie, P.	2009	Inibidor
Effect of rotating-electromagnetic field on scaling in hard water	Peng Zhang, Shukang Cheng, Bin Guo	2009	Dispositivo físico
Low molecular weight co-polymer for calcium scale inhibition at high temperature	Senthilmurugan, B., Ghosh, B.	2009	Inibidor

Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation: Influence of the pipe material	F. Alimi, M.M. Tlili, M. Bem Amor, G. Maurin, C. Gabrielli	2009	Dispositivo físico e material da tubulação
In-situ monitoring the inhibiting effect of polyphosphinocarboxylic acid on CaCO ₃ scale formation by synchrotron X-ray diffraction	Chen, T., Neville, A., Sorbie, K., Zhong, Z.	2009	Inibidor
The use of contact angle measurements to estimate the adhesion propensity of calcium carbonate to solid substrates in water	Sameer Bargir, Steve Dunn, Bruce Jefferson, Jitka Macadam, Simon Parsons	2009	Revestimento
Estimation of the scale deposits near wellbore via software in the presence of inhibitors	Hosny, R., Desouky, S.E.M., Ramzi, M., Abdel-Moghny, Th., El-Dars, F.M.S., Farag, A.B.	2009	Inibidor

Fonte: O autor, 2021.