



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

FRANCISCO MEDEIROS DE ANDRADE NETO

**APLICAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PARA REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO**

MOSSORÓ

2023

FRANCISCO MEDEIROS DE ANDRADE NETO

**APLICAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PARA REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Jardel Dantas da Cunha

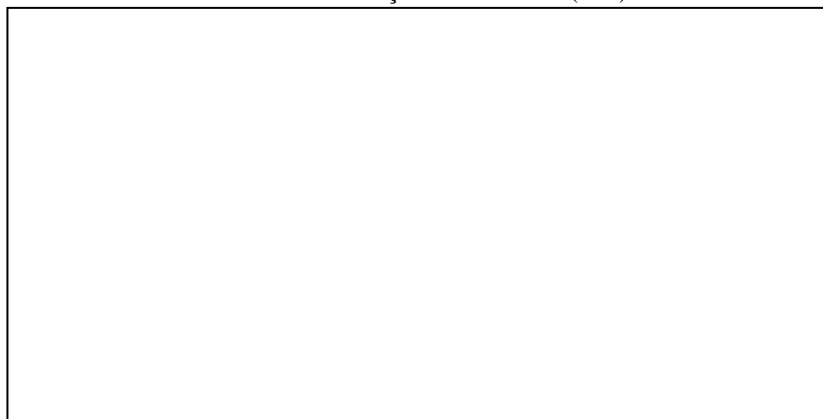
Coorientador: Prof. Dr. Fabio Pereira Fagundes

MOSSORÓ

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)



Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)
FRANCISCO MEDEIROS DE ANDRADE NETO


**APLICAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PARA REMOÇÃO DE ÓLEOS E GRAXAS DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Defendida em: 29/09/2023.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente

 **JARDEL DANTAS DA CUNHA**
Data: 14/11/2023 08:09:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Jardel Dantas da Cunha (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente

 **FRANCISCO WILTON MIRANDA DA SILVA**
Data: 14/11/2023 09:02:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Wilton Miranda da Silva (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente

 **RUZA GABRIELA MEDEIROS DE ARAUJO MACED**
Data: 14/11/2023 08:21:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, por sempre me sustentar em momentos difíceis, e por ser o centro de todas as minhas realizações;

À minha família por todo incentivo e apoio, em especial meus pais, Ana Lúcia da Costa Medeiros e Cesar Augusto de Medeiros, e minhas irmãs, Camila Cesluci Fernandes de Medeiros, Cassandra Cesluci de Medeiros Fernandes Feio, Cibele Cesluci de Medeiros Fernandes Alexandria e Ana Cecilia da Costa Medeiros;

Ao Programa de Recursos Humanos (PRH/ANP - 55.1) gestão FINEP da ANP pela concessão da bolsa e materiais utilizados nesse trabalho.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Fábio Fagundes Pereira e o Prof. Dr. Jardel Dantas da Cunha pelo incentivo e dedicação no desenvolvimento de novos caminhos.

Á todos que contribuíram de alguma forma para construção desse trabalho, em especial a técnica do laboratório, Dr. Daianni Ariane da Costa Ferreira, por todo apoio nos momentos de realização dos experimentos.

Aos professores Dr. Francisco Wilton Miranda da Silva, Dra. Geraldine Angélica Silva da Nobrega, Dr. Frederico Ribeiro do Carmo e Dra. Ruza Gabriela Medeiros de Araujo Macedo que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos Amelia, Emanuel, Paloma, Ingrid, Suelen, Camila, Abdiel, Lara, Eduarda, Adriano, Luan, Luiz, Leticia, Daniel e em especial Amanda Gabriely por me ajudar em muitas etapas desse trabalho.

E seja sobre nós a graça do Senhor, nosso Deus; e Confirma sobre nós a obra das nossas mãos; sim, confirma a obra das nossas mãos.

Salmos, 90.17

RESUMO

A água produzida é uma grande problemática para indústria petrolífera devido a elevada quantidade e sua variável composição, sendo um dos principais contaminantes para o meio ambiente. A gestão eficiente da água produzida é essencial para atender às regulamentações ambientais rigorosas, garantir a sustentabilidade das operações de exploração e produção de petróleo e reduzir os custos operacionais. O teor de óleos e graxas (TOG) é um dos principais parâmetros a serem analisados para o descarte final da água produzida. Diante desse problema, se faz necessário o uso de métodos alternativos para o tratamento dessa água. Sendo assim, os polímeros surgem como alternativa, pois é tecnicamente viável em comparação com métodos mais utilizados, biodegradável e atóxico. A goma guar e o hidroxipropilguar são biopolímeros com importantes características físico-químicas e estruturas tridimensionais, que através da reticulação das cadeias poliméricas por íons borato, na presença de sais, ocorre o efeito *salting out*, reduzindo a solubilidade do gel polimérico em água. Ao realizar esse processo tem-se como resultado o óleo aprisionado no gel colapsado e a separação das fases óleo e água. Para a determinação do TOG foi utilizado o método de espectrofotometria na região do ultravioleta e visível (UV-VIS). Analisou-se o TOG após o colapso em tempos distintos de 3, 6, 9 e 24h. Esse processo resultou numa remoção de óleo superior a 90% para a goma guar, com concentração de 4 g/L, com 3h após o colapso enquanto para o hidroxipropilguar, com concentração de 5 g/L, apenas depois de 6h após o colapso.

Palavras-chave: Água produzida, Reticulação polimérica, Goma guar, Hidroxipropilguar,

ABSTRACT

The produced water is a significant concern for the petroleum industry due to its high quantity and variable composition, being one of the main contaminants for the environment. Efficient management of produced water is essential to comply with stringent environmental regulations, ensure the sustainability of oil exploration and production operations, and reduce operational costs. The total oil and grease (TOG) content is one of the key parameters to be analyzed for the final disposal of produced water. In the face of this problem, the use of alternative methods for treating this water is necessary. Thus, polymers emerge as an alternative because they are technically feasible compared to more commonly used methods, biodegradable, and non-toxic. Guar gum and hydroxypropyl guar are biopolymers with important physicochemical characteristics and three-dimensional structures. Through the cross-linking of polymeric chains by borate ions, in the presence of salts, a salting-out effect occurs, reducing the solubility of the polymer gel in water. This process results in the oil being trapped in the collapsed gel, and the separation of oil and water phases. The TOG was determined using the UV-VIS spectrophotometry method. The TOG was analyzed after collapse at different times of 3, 6, 9, and 24 hours. This process resulted in a removal of over 90% of the oil for guar gum at a concentration of 4 g/L, within 3 hours after collapse, while for hydroxypropyl guar, at a concentration of 5 g/L, this occurred only after 6 hours following collapse.

Keywords: Produced water, Polymeric crosslinking, Guar gum, Hydroxypropylguar.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Reservatório de petróleo e seus elementos essenciais	17
Figura 2	–	Relação entre água produzida e amadurecimento do poço.....	18
Figura 3	–	Representação das moléculas poliméricas: a) linear; b) ramificado; c) ramificações em estrela; d) escalar; e) enxertado; f) semi-escalar; g) reticulados	23
Figura 4	–	Estrutura molecular da Goma Guar	26
Figura 5	–	Estrutura molecular do hidroxipropilguar (HPG).....	27
Figura 6	–	Processo de reticulação da goma guar e do HPG com íons borato	30
Figura 7	–	Dependência da formação do íon borato em relação a temperatura e pH.....	31
Figura 8	–	Efeito salting-out aplicado a cadeia polimérica: a) sem a presença de sais; b) com a presença de sais	32
Figura 9	–	Água produzida sintética.....	34
Figura 10	–	Curva analítica para determinação do TOG	37
Figura 11	–	Remoção do óleo das amostras com tempo de 3 horas após o colapso.....	38
Figura 12	–	Remoção do óleo das amostras com tempo de 6 horas após o colapso.....	38
Figura 13	–	Remoção do óleo das amostras com tempo de 9 horas após o colapso.....	39
Figura 14	–	Remoção do óleo das amostras com tempo de 24 horas após o colapso.....	39
Figura 15	–	Amostras após de 3 h de complexação.....	40
Figura 16	–	Amostra 9 de hidroxipropilguar com: a) após 3 horas; b) após 6 horas; c) após 9 horas; d) 24 horas após a complexação	41
Figura 17	–	Mapeamento por superfície de resposta para a goma guar com tempo de: a) 3h; b) 6h; c) 9h e d) 24h.....	42
Figura 18	–	Mapeamento por superfície de resposta para o HPG com tempo de: a) 6h; b) 9h; c) 24h.....	43
Figura 19	–	Diagrama de Pareto para a goma guar em diferentes tempos de: a) 3 h, b) 6 h, c) 9 h, e d) 24 h.....	44
Figura 20	–	Diagrama de Pareto para o HPG em diferentes tempos de: a) 6 h, b) 9 h e c) 24 h	45
Figura 21	–	Amostras antes de começar o colapso da goma guar.....	46
Figura 22	–	Remoção do óleo em função do pH e do tempo para a goma guar.....	46
Figura 23	–	Amostras ao final do tempo 9h da goma guar	47
Figura 24	–	Amostras antes de começar o colapso do HPG	48

Figura 25	–	Remoção de óleo em função do pH e do tempo para o HPG	48
Figura 26	–	Amostras ao final do tempo 9h do HPG	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Análise físico-químicas da água produzida coletada na Petrobras, Unidade Sergipe/Alagoas	19
Tabela 2	–	Condições e padrões previstos no Art. 16 da seção II (CONAMA) para descarte de água produzida em meio ambiente	21
Tabela 3	–	Padrões de substituição da goma guar	27
Tabela 4	–	Reagentes e fabricantes	33
Tabela 5	–	Formulações de géis de goma guar com a água produzida sintética.....	35
Tabela 6	–	Variáveis e níveis utilizados no Statistic Software.....	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Petróleo	15
2.2	Água Produzida	16
2.2.1	Origem	16
2.2.2	Produção	17
2.2.3	Composição	18
2.2.3.1	Teor de Óleos e Graxas	19
2.2.4	Impacto e Legislação Ambiental	20
2.2.5	Métodos de Tratamento	21
2.3	Polímeros	22
2.3.1	Biopolímeros	25
2.4	Goma Guar	25
2.5	Hidroxipropilguar	26
2.6	Reticulação Polimérica	28
2.7	Hidrogéis Poliméricos	29
2.8	Efeito Salting-out	31
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Materiais	32
3.2	Metodologia	33
3.2.1	Construção da Curva de Calibração	33
3.2.2	Preparação da Água Produzida Sintética	34
3.3.3	Planejamento Experimental	34
3.3.4	Avaliação do pH na Remoção de Óleos de Graxas	35
3.3.5	Determinação do Teor de Óleos e Graxas	36
3.3.6	Mapeamento por superfície de resposta e Diagrama de Pareto	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Curva Analítica	37
4.2	Remoção do óleo em água produzida sintética	37
4.3	Mapeamento por Superfície de Resposta	42
4.4	Diagrama de Pareto.....	44
4.5	Avaliação do pH na Remoção de Óleos e Graxas	46

5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	50
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A	61
	APÊNDICE B	64

1 INTRODUÇÃO

O Meio Ambiente é impactado diariamente como resultado das atividades industriais. Diante disso, também aumenta-se a busca por melhorias na qualidade das técnicas e materiais para aperfeiçoar os processos de tratamento desses resíduos, isso resulta da necessidade à adequação as leis ambientais exigidas pelos órgãos ambientais (PAIXÃO, 2015).

A indústria do petróleo é amplamente dividida em diferentes segmentos, cada um com funções específicas relacionadas à exploração, produção, refino e distribuição de petróleo e seus derivados. Esses segmentos são interligados e constituem o ciclo de vida do petróleo, desde a sua extração até o consumo final (ANP, 2020). A indústria do petróleo gera diversos tipos de resíduos em todas as etapas do processo, desde a exploração até a distribuição. Alguns dos principais resíduos produzidos incluem: resíduos sólidos, como cascalho de perfuração, resíduos de refino, como embalagens de produtos químicos e equipamentos descartados; águas residuais, tanto na exploração quanto no refino; emissões atmosféricas, referente a queima de combustíveis fósseis e processos de refino e alguns resíduos como produtos químicos utilizados na perfuração e produtos de tratamento de água. Dentre esses resíduos a água produzida é o que se encontra em maior quantidade, e que possui a maior problemática quanto ao seu tratamento sendo um grande desafio para a indústria petrolífera (IBAMA, 2013).

A água produzida é um subproduto inevitável da extração de petróleo e gás. Ela é encontrada naturalmente nos reservatórios subterrâneos de petróleo e é trazida à superfície junto com o petróleo durante o processo de extração. A água produzida pode ser originada de três fontes principais: água conata, essa é a água presente nos reservatórios desde a formação geológica; água de injeção, em alguns casos, a água é injetada nos reservatórios para aumentar a pressão e melhorar a recuperação de petróleo e a água de formação, onde durante a produção de petróleo, a água naturalmente presente nas rochas do reservatório também é liberada junto com o petróleo. A gestão adequada da água produzida é um desafio significativo para a indústria do petróleo, pois ela frequentemente contém impurezas, produtos químicos e pode ser salina. Estratégias de tratamento e descarte são implementadas para minimizar os impactos ambientais e garantir a conformidade regulatória (IBP, 2020).

O volume de água produzida aumenta conforme o poço fica maduro¹, estágio no qual o volume de água produzida excede o de petróleo (ROCHA, 2018). Através do processo de produção do poço, que normalmente produz uma mistura de gás, óleo e água, os elementos são separados no processamento primário do petróleo através de separadores bifásicos ou trifásicos. Essa água poderá seguir alguns destinos como descarte, reinjeção no próprio poço produtor, principalmente quando o poço já se encaminha para um estágio maduro, ou poderá ser reutilizada, por exemplo, na irrigação de plantações. Porém mesmo com essas opções o volume de água é superior. (ROCHA, 2018).

O tipo de processo a ser designado para o tratamento da água produzida depende dos compostos que se deseja remover e do destino a ser adotado para a água produzida tratada. Muitos dos processos de tratamento utilizados não são tão eficientes e precisam de um tratamento secundário, ou então demandam alto custo o que não torna viável. Assim, muitos estudos são realizados para melhoria desses processos e até a criação de novos tratamentos que visam um baixo custo e uma melhor eficiência. Dentre os métodos e materiais mais utilizados para o tratamento desse efluente, pode-se citar os hidrociclones, osmose reversa, flotação, processo fenton, tratamento biológico ou com membranas, adsorção em carvão ativado, argila orgânica, copolímeros, tratamento com ozônio, zeólitos e resinas, dentre vários outros (MOTTA, 2013).

A busca por materiais naturais para remoção de compostos orgânicos por adsorção vem em uma enorme crescente. Resíduos de materiais renováveis têm mostrado um potencial elevado no tratamento de efluentes contaminados (AUWAL; HOSSSEN; RAKIB-UZ-ZAMAN, 2018). Os biopolímeros surgem como uma excelente alternativa devido à possibilidade de modificações estruturais capazes de melhorar sua performance frente à remoção de contaminantes, além disso são biodegradáveis, pois são derivados de fontes naturais como plantas, bactérias ou algas, possuem um custo menor quando comparado com polímeros sintéticos, não são tóxicos o que diminui riscos operacionais, que é importante para preservação da saúde dos ecossistemas aquáticos e para evitar contaminação de águas subterrâneas.

Nesse contexto, o objetivo principal desse trabalho consiste em avaliar o desempenho dos polímeros de goma guar e hidroxipropilguar na remoção do teor de óleo e graxas da água produzida através do processo de reticulação com o íon borato.

¹ Poço maduro: se refere àqueles poços de petróleo ou gás natural que já ultrapassaram seu pico de produção, ou seja, o volume de petróleo extraído reduziu a energia interna do reservatório, gerando um declínio natural da produção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Petróleo

Por definição o petróleo no estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho-claro. É constituído por uma mistura de compostos químicos orgânicos, os hidrocarbonetos. O petróleo contém centenas de compostos químicos, e separar esses compostos em substâncias puras ou misturas de composição conhecida é praticamente impossível, o qual é separado em frações de acordo com a faixa de ebulição dos compostos (THOMAS, 2001).

O petróleo, ao longo da história, emergiu como um recurso crucial que moldou profundamente a economia e a geopolítica globais. Sua trajetória remonta a civilizações antigas que exploravam o óleo bruto para usos medicinais e impermeabilização de embarcações. No entanto, foi durante a Revolução Industrial que o petróleo ganhou proeminência, à medida que a demanda por combustíveis fósseis, bem como iluminação mais eficaz, cresceu exponencialmente. O ano de 1859 marcou um marco fundamental com a perfuração do primeiro poço comercial de petróleo em Titusville, Pensilvânia, pelos esforços de Edwin Drake. A partir desse momento, o petróleo tornou-se uma força motriz da Revolução Industrial e uma base para a expansão da indústria automobilística no século XX (THOMAS, 2004).

No Brasil, as primeiras evidências da existência de petróleo no Brasil datam do século XVII, quando os colonizadores portugueses notaram a presença de óleo nas praias do nordeste do país. Contudo, o primeiro poço brasileiro perfurado com o objetivo de encontrar petróleo aconteceu no ano de 1897 em Bofete no estado de São Paulo, por Eugênio Ferreira Camargo. O poço atingiu uma profundidade de 488 metros e, segundo relatos da época, produziu 0,5 m³ de óleo. Ao longo dos anos a produção de petróleo só cresceu. Com a criação da Petrobras, obteve-se avanço em pesquisar do petróleo, e conforme as décadas iam se passando mais poços eram perfurados em diferentes estados brasileiros. Com a chegada da Petrobras, a produção de petróleo cresceu cerca de 750 m³/dia, ao final dos anos 90 esse crescimento já ultrapassava os 182.000 m³/dia, isso tudo graças aos contínuos avanços tecnológicos de perfuração e produção.

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2022), o Brasil no ano de 2022, atingiu a marca de 3,14 milhões de barris de petróleo por dia, possuindo a 9º posição no ranking de países produtores de petróleo, onde está mais

concentrada nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Espírito Santo que corresponderam a 85,9 %, 9,21 % e 4,89 % da produção de petróleo brasileira, respectivamente.

Juntamente com o petróleo, gás natural e água são extraídos constantemente nas linhas de produção, a água por exemplo em quantidades, muitas vezes, superior à de petróleo. Depois da extração desses três elementos, onde se encontram os três elementos em uma única corrente, eles chegam aos separadores, bifásicos ou trifásicos, onde são separados e encaminhados para tratamento e refino. O petróleo segue para as refinarias onde passa por um processo de tratamento adicional para remover impurezas, como areia, sais e sólidos indesejados. Isso pode envolver processos de desidratação, dessalinização e remoção de sólidos. O gás separado também passa por um processo de tratamento para remover impurezas, como dióxido de carbono (CO₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e outros contaminantes. Em seguida, o gás é processado para atender às especificações de pureza e pressão necessárias para transporte e uso. Já a água produzida possui alguns destinos que será decidido pela empresa produtora, onde poderá ser utilizado como reinjeção no próprio poço, descartado no mar ou reutilizado em outros processos, como por exemplo na irrigação, porém para qualquer destino que a água produzida tenha, deverá ser feito um tratamento anterior (GAUTO, 2016).

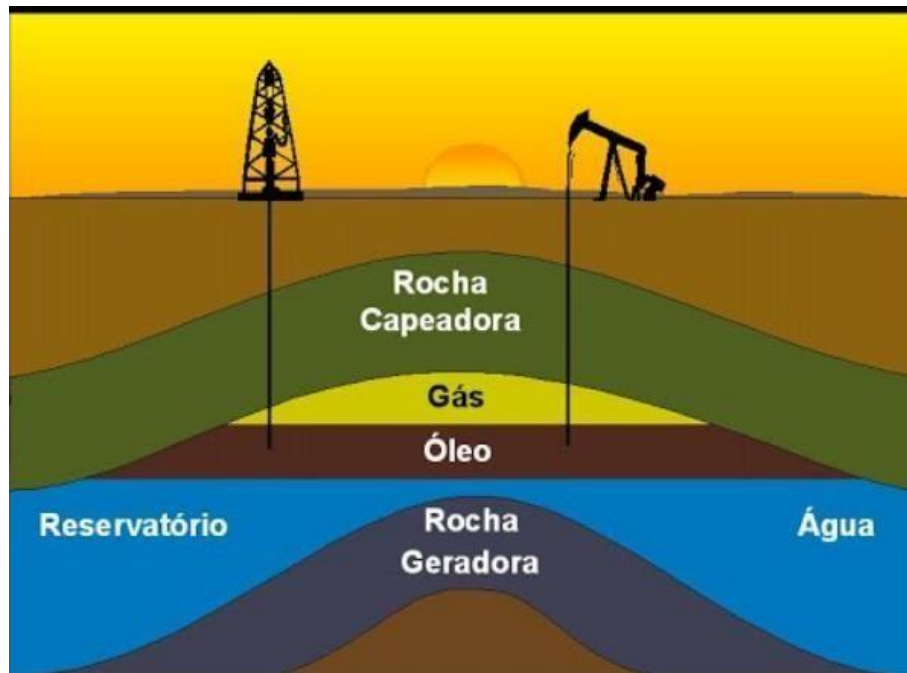
2.2 Água Produzida

2.2.1 Origem

A água produzida, também conhecida por água de produção, é a junção da água conata, que é a água que está no poço desde sua formação, e a água de injeção utilizada nos processos de extração do petróleo (AMINI et. al., 2012). É o maior efluente obtido na extração do petróleo e devido aos compostos presentes em sua composição, ela se torna um dos principais poluentes do meio ambiente, sendo gerada diariamente nos poços de produção (CHAKRABARTY; GHOSHAL; PURKAIT, 2010).

Durante o processo de formação do petróleo o resto de animais marinhos foram decompostos no fundo do oceano e com o tempo foram soterrados por sedimentos, então devido à pressão exercida pela água esse material foi se transformando em petróleo. O petróleo então foi migrando entre as rochas permeáveis adjacentes que foram trapeadas estruturalmente por rochas impermeáveis, onde fica retido o petróleo juntamente com a água conata (BARBOSA, 2011). A Figura 1 exemplifica esse processo.

Figura 1 – Reservatório de petróleo e seus elementos essenciais.

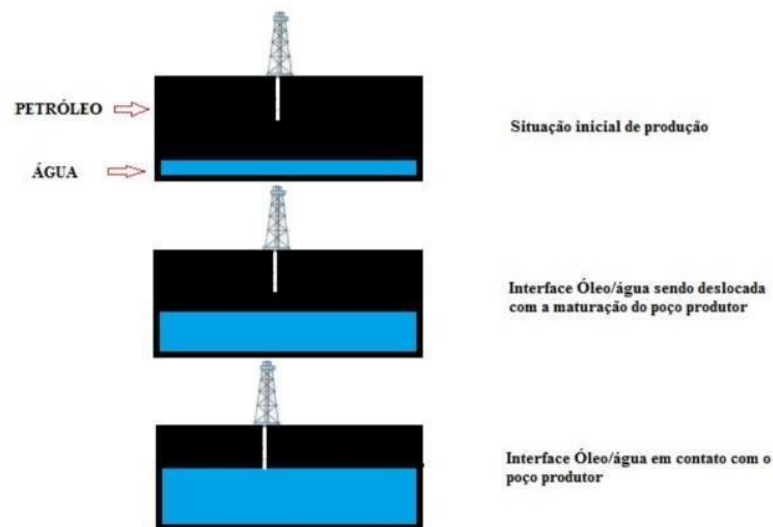


Fonte: Rosa (2020).

2.2.2 Produção

Os poços são perfurados com base em estudos quanto a estrutura geológica, a fim de que o volume da água produzida seja o mínimo e maximize a produção do petróleo. A produção da água produzida tem relação de proporcionalidade com o tempo de amadurecimento do poço (Figura 2), quanto mais maduro o poço for, maior é a quantidade de água extraída, essa mesma relação se torna inversa quando se trata do petróleo (CARVALHO, 2016).

Figura 2 – Relação entre água produzida e amadurecimento do poço.



Fonte: Balaban e Paixão (2018).

Devido o amadurecimento do poço, o mesmo acaba perdendo pressão e fazendo com que o petróleo não surja de forma natural, com isso é injetado água para que essa pressão seja mantida e o petróleo continue em ascensão. Porém, como consequência, esse processo acaba gerando um volume maior de água (CURBELO, 2002).

2.2.3 Composição

A água produzida tem composição química bastante variada e complexa, muitos dos compostos presentes, dependem principalmente das características geológicas do reservatório. Em geral a água produzida é composta por hidrocarbonetos, uma variedade de metais e possui alta salinidade (RIBEIRO, *et. al.*, 2014). A Tabela 1 mostra a composição da água produzida de um reservatório da unidade de Sergipe/Alagoas, coletada pela Petrobras.

Tabela 1 – Análise físico-químicas da água produzida coletada na Petrobras, Unidade Sergipe/Alagoas.

Parâmetros	Faixa de Resultado(mg/L)	
	Mínimo	Máximo
Salinidade	28.445	142.914
Densidade a 20°C	1,02	1,125
pH	6,4	7,2
Bário	10	868
Alcalinidade Total	72	638
Dureza Total	5.240	50.336
Cloretos	17.240	86.614
Ferro Total	0,2	46,2
Cálcio	1.318	17.808
Magnésio	459	1.440
Estrôncio	25	846
Sódio	13.009	60.348
Potássio	245	1.149
Bicarbonatos	88	684
Sulfatos	5	227
Alumínio Total	3,2	7,70
Cromo Total	<0,01	0,10
Manganês Total	0,6	20,5
Cádmio	<0,01	0,01
Chumbo	<0,01	0,07
Cobre Total	<0,01	0,20
Níquel	<0,01	0,04
Zinco	<0,01	2,42
TOG	100	500

Fonte: Adaptação de Petrobras, 2009.

2.2.3.1 Teor de óleos e graxas

O teor de óleos e graxas (TOG) é um dos principais parâmetros a ser analisado, as tecnologias existentes que são cotidianamente utilizadas para redução desse parâmetro muitas vezes não são capazes de atingir a eficiência necessária e acabam necessitando de um processo secundário para completa remoção do óleo (EBRAHIMI *et. al.*, 2009). O valor do TOG pode ser encontrado através das técnicas de espectroscopia na região do infravermelho, na qual utiliza a absorção de luz por ligações moleculares para identificar e quantificar compostos orgânicos, colorimetria, que envolve a medição de cor de uma amostra para determinar a concentração de composto específico, fluorescência, mede a intensidade da luz emitida por uma substância quando excitada por luz ultravioleta ou visível, cromatografia

gasosa, separa e identifica componentes voláteis de uma amostra com base em suas propriedade de partição ente uma fase estacionária e uma fase móvel gasosa, cromatografia gasosa combinada com espectrometria de massa, esta técnica é uma combinação da cromatografia gasosa com a análise de massa para identificar e quantificar compostos em amostras complexas, e a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência, no qual possui o mesmo fundamento da cromatografia gasosa, porém com uma fase estacionária líquida e uma fase móvel líquida (MINTY; RAMSEY; DAVIES, 2000).

O óleo contido na água pode se apresentar de quatro maneiras: livre, disperso, emulsionado e solubilizado. Em relação ao óleo livre e disperso as gotas são maiores que 20 μm com isso, podem ser facilmente removidas por processos de separação gravitacional, com uma diferença que no óleo disperso em que as gotas tem diâmetro entre 20 μm e 150 μm , é necessário verificar a existência ou não de agentes estabilizantes, já para o óleo emulsionado, o processo gravitacional não será eficiente pois as gotas são menores que 20 μm , necessitando de processos mais eficientes como centrifugação ou flotação, ou com a adição de alguma substância química, e por fim o óleo solubilizado na água, para esse caso é muito difícil o processo de remoção do óleo, necessitando de processos com extração com algum solvente, alguns métodos eletroquímicos e etc (OLIVEIRA, 1995; CHERYAN; RAJAGOPALAN, 1998).

2.2.4 Impacto e legislação ambiental

Com o aumento da extração de petróleo, aumenta-se o volume de água produzida, esse aumento gera um perigo potencial ao meio ambiente. Os problemas ambientais relacionados a água produzida variam em função da composição da água e do destino final dado a ela. O descarte incorreto desse efluente provoca efeitos nocivos ao meio ambiente, gerando multas e penalidades legais e um custo elevado com ações corretivas (BALABAN; PAIXÃO, 2018).

O CONAMA é o órgão responsável por estabelecer as condições e padrões de descarte da água produzida. Em 2005 o CONAMA criou a Resolução n° 357/2005 que mais tarde foi completada pela Resolução n° 393/2007, onde estabelece que o valor do TOG deveria ter uma concentração média de 29 mg/L mensal e uma concentração máxima de 40 mg/L diária. No ano de 2011 o CONAMA estabeleceu novos padrões e condições para a água produzida (Tabela 2) onde diz que os efluentes de qualquer fonte poluidora poderão ser descartados em

corpos receptores naturais se atendenrem aos parâmetros estabelecidos no Art.16 da seção II da Resolução n° 430/11.

Tabela 2 - Condições e padrões previstos no Art. 16 da seção II (CONAMA) para descarte de água produzida em meio ambiente.

Parâmetros	Condições
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C, com variação de temperatura do corpo receptor abaixo de 3°C no limite da zona de mistura.
Materiais Sedimentáveis	Até 1 mL/L. No caso de lagoas e lagos, com velocidade de circulação nula, os materiais sedimentáveis devem ser totalmente ausentes.
Regime de Lançamento	Vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor.
Óleos e Graxas	Óleos minerais: até 20 mg/L; Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L.
Materiais Flutuantes	Ausentes.
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Remoção mínima de 60% de DBO, sendo este limite reduzido apenas em caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas de enquadramento do corpo receptor.

Fonte: Conama n°430, 2011.

2.2.5 Métodos de tratamento

É evidente a necessidade de tratamento da água produzida, de forma que atenda aos padrões impostos pelo CONAMA. Após o tratameto a água pode ter diferentes destinos: descarte no mar, injeção nos métodos de recuperação secundária do petróleo e o uso em outras atividades, como por exemplo, a irrigação. Para cada destino que a água poderá ter é necessário um tipo de tratamento, com a intenção de remover componentes específicos (QUEIROZ, 2006).

A grande quantidade de métodos e processos utilizados no tratamento de água produzida na indústria petrolífera tem como objetivo principal a redução do teor de óleo disperso para que após o tratamento essa água possa ser descartada de forma segura no ambiente ou injetadas em poços para recuperação secundária do petróleo (AMINI *et. al.*, 2012).

Hoje, na indústria, existem vários métodos de tratamento para água produzida. Para Gomes (2009), a escolha do melhor método depende das características do efluente, como, por exemplo, o teor de sólidos, o tamanho das gotas de óleo que estão dispersas e a concentração de óleo. Os métodos mais utilizados são: extração líquido-líquido, flotação a ar, hidrociclones, separadores gravitacionais, filtração, tratamentos químicos e biológicos.

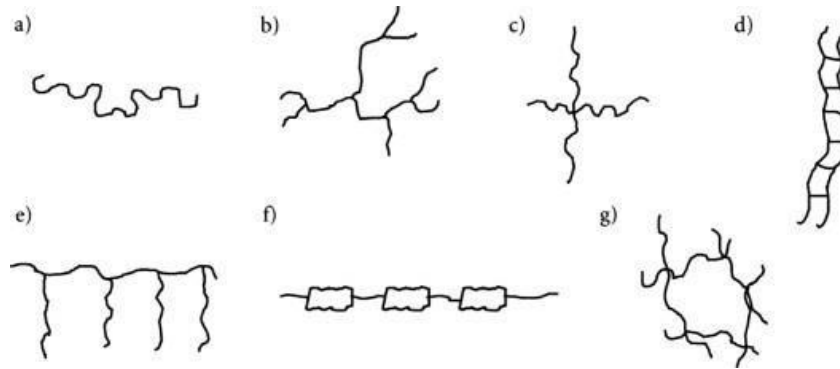
Devido aos parâmetros estabelecido pelo CONAMA, muitos dos métodos de tratamento convencionais não são completamente eficazes, caracterizando esses processos em métodos primários, pois não removem completamente o óleo, necessitando assim de métodos secundários para se enquadrarem na legislação.

Dentre os vários métodos existentes, tem-se os polímeros que também são utilizados no tratamento de água produzida, no qual dividem-se em três mecanismos que são: adsorção, floculação e complexação (LUCAS *et. al.*, 2009).

2.3 Polímeros

A palavra polímero tem origem do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição). Sendo assim, polímero é uma macromolécula composta de várias repetições de meros ligadas por ligações covalentes. Polímeros podem ser de origem natural (biopolímeros) ou sintética com massa molar de 10^4 a 10^6 , de natureza orgânica ou inorgânica, sendo o primeiro o mais estudado e importante comercialmente (CANEVAROLO, 2006). As cadeias poliméricas se apresentam de várias formas, dentre elas tem-se: cadeias com meros ligados entre si de forma contínua, que são chamadas de cadeias lineares, cadeias com meros ligados do forma tridimensional, que recebem o nome de cadeia reticulada, e quando a cadeia possui ramificações laterais, são chamadas de cadeias ramificadas ou não-linear (AKCELRUD, 2007). A Figura 3 apresenta os vários tipos de arranjos entre os meros.

Figura 3 – Representação das moléculas poliméricas: a) linear; b) ramificado; c) ramificações em estrela; d) escalar; e) enxertado; f) semi-escalar; g) reticulados.



Fonte: Akcelrud (2007).

Os polímeros são classificados de acordo com a estrutura química, método de preparação, comportamento mecânico e desempenho mecânico. Quanto a estrutura química, os polímeros são divididos em duas classes, que são: polímeros de cadeia carbônica e polímero de cadeia heterogênia. Dentro dos polímeros de cadeia carbônica encontram-se as poliolefinas, polímeros de dienos, estirênicos, clorados, fluorados, acrílicos, ésteres e o fenol-formaldeído, já para os polímeros de cadeia heterogênia, tem-se os poliéteres, poliésteres, policarbonato, poliamidas, poliuretanos, aminoplásticos, derivados de celulose e as siliconas.

Quanto ao método de preparação, são divididos em polímeros de adição e polímeros de condensação. Os polímeros de condensação são formados a partir de reações de condensação com a eliminação de pequenas moléculas como água, ácido clorídrico ou metanol e os de adição são aqueles que, durante a sua formação, não há perda de massa na forma de compostos de baixo peso molecular (AKCELROD, 2007).

Já em relação ao comportamento mecânico, são divididos em plásticos, elastômeros e fibras. Os plásticos compõem um material sólido na temperatura ambiente, ou próximo dele, e ainda são subdivididos em termoplásticos, termorrígidos e baroplásticos. Os elastômeros são polímeros que na temperatura ambiente são capazes de se deformar no mínimo duas vezes o seu comprimento inicial, retornando ao comprimento original, e devido apresentarem essa característica os elastômeros possuem normalmente cadeias flexíveis ligadas umas às outras, com baixa densidade de ligação cruzada. E quanto as fibras são compostos filiformes que apresentam um elevado comprimento em relação à dimensão transversal máxima, sendo caracterizado pelas suas flexibilidade e finura (CANEVAROLO, 2006).

E para o desempenho mecânico, tem-se os termoplásticos convencionais que são polímeros de baixo custo, baixo nível de exigência mecânica, elevada produção, facilidade de

processamento etc. São exemplos dessa classe as poliolefinas, o poliestireno e o policloreto de vinila (PVC). Termoplásticos especiais que são polímeros com um custo um pouco mais elevado em relação aos convencionais, porém com algumas características melhores. Como exemplos tem-se o etileno-acetado de vilina (EVA) e o estireno-acrilonitrila (SAN). Termoplástico de engenharia, que necessitam ter um bom desempenho pois é utilizado em dispositivos mecânicos como engrenagens, peças térmicas etc. E ainda nessa classificação tem-se os termoplásticos de engenharia especiais que são utilizados para altas temperaturas. Policarbonatos e poliuretanos são exemplos desse tipo de polímero (AKCELRUD, 2007).

Resinas poliméricas vem sendo utilizadas para tratamento da água produzida. Queiros *et. al.* (2006) trabalharam na remoção do óleo da água produzida, previamente tratada com métodos primários, utilizando a aplicação dessa resina polimérica através de processos de coluna de leito fixo, construídas por segmentos hidrofílicos e lipofílicos. E através desse processo de adsorção, foi variado os volumes de vazão e obtidos altas porcentagens de remoção do óleo. Em uma amostra com 50 ppm de óleo foi removido mais de 97 % do óleo.

Polímeros naturais, denominado de biopolímeros, são ainda melhores para o tratamento de água produzida por não apresentarem toxicidade e terem menor custo quando comparado aos polímeros artificiais. Grem *et. al.* (2013) estudaram a remoção de óleo através de esferas de quitosana, com a injeção dessas esferas em colunas de água produzida variando as vazões e, com isso, obtiveram um bom desempenho quanto a remoção do óleo da água, chegando a valores de quase 100% de remoção do óleo.

Não só no tratamento de água produzida, os polímeros também são utilizados em tratamento de água de vários setores como por exemplo no trabalho de Souza *et. al.* (2017), onde eles utilizaram biopolímeros no tratamento de efluentes da indústria do papel e celulose. Através de processos oxidativos avançados, foi avaliado a eficiência do processo de foto fenton immobilizando as esferas de quitosana como catalizador e com esses experimentos foram obtidos resultados satisfatórios para as análises realizadas.

Um biopolímero bastante utilizado no tratamento de água como flocculante é a goma guar. Balaban e Paixão (2018) utilizou a goma guar no processo de clarificação de salmouras e água produzida, fazendo a complexação de polímero com o ácido bórico, e também fez as medições do teor de óleos e graxas e obteve resultados muito bons, onde obteve um máximo de 97,79% de remoção de óleo.

Gupta e Ako (2005) utilizaram o biopolímero de goma guar também no processo de clarificação de água, porém da indústria alimentícia e avaliaram o potencial de polímero como flocculante, visando uma alternativa não tóxica, em comparação com polímeros artificiais.

2.3.1 Biopolímeros

O termo biopolímero refere-se tanto a polímeros, biologicamente ativos, como as proteínas, ou a polímeros sintéticos utilizado em aplicações biológicas ou biomédicas, como por exemplo, o silicone.

Extraído de plantas, sementes ou animais, os polissacarídeos, também conhecido como glicanos, são grandes polímeros naturais formados por cadeias de monossacarídeos ligados entre si por ligações glicosídicas, no qual são ligadas entre um grupo hemiacetal de um açúcar e o grupo hidroxila do outro. Podem ser usados diretamente ou depois de realizado processos de modificação química ou enzimática. Com o passar dos anos o uso dos polissacarídeos vem crescendo devido a suas características peculiares, pois não apresentam toxicidade, possuem um baixo custo quando comparado com polímeros sintéticos e pelo fato de ser biodegradável (MANO; MENDES, 2018).

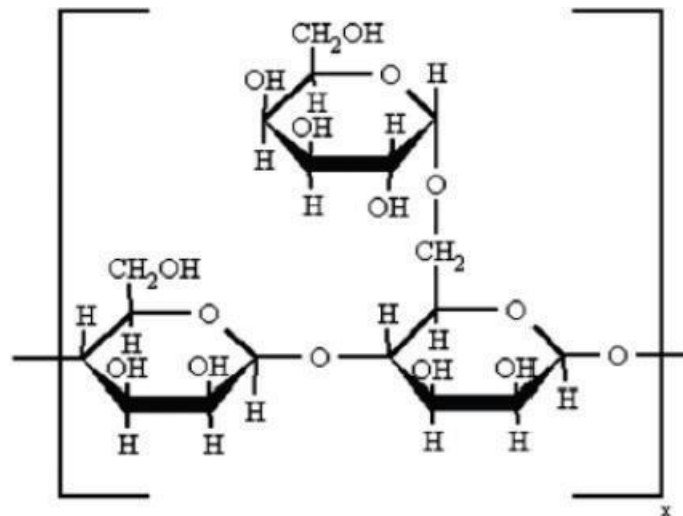
Quando polissacarídeos possuem alta massa molar, são chamados de goma, que possuem várias ramificações em sua estrutura molecular, e por esse motivo possuem uma alta afinidade com a água. Em suma, gomas são definidas como qualquer polissacarídeo com grande cadeia e alta massa molar solúvel em água, no qual são extraídas de vegetais terrestres ou marinhos e de microrganismos. Quando solubilizada, a goma possui capacidade de produzir soluções viscosa e estruturas de géis com baixa concentração do polímero (MANO; MENDES, 2018).

As gomas conseguem controlar as características reológicas de sistemas aquosos através da estabilização de emulsões, suspensão de partículas e controle de cristalização. Por conta dessas habilidades, que as gomas são tão importantes (AKCELRUD, 2007).

2.4 Goma Guar

A goma guar é um polissacarídeo neutro de origem natural que é utilizado como viscosificante em soluções aquosas. É obtido através do endosperma das sementes da leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus* (Feijão Guar). Sua estrutura (Figura 4) é constituída por unidades de hexoses (1→4)-β-D-manose, que compreende a cadeia principal e por grupos laterais de (1→6)-α-D-galactose (DEA; MORRISON, 1975).

Figura 4 – Estrutura molecular da Goma Guar.



Fonte: Silva (2015).

A goma guar é um produto bastante utilizado em vários setores da indústria, pelo fato de formar soluções muito viscosas mesmo em baixas concentrações, devido a sua alta massa molar e a presença de interações com as ligações de hidrogênio. Uma característica da goma guar é que se hidrata independente da temperatura da água, formando soluções viscosas. Porém, a viscosidade depende do tamanho das partículas, do pH e da temperatura. As soluções de goma guar normalmente são turvas devido as fibras insolúveis e materias celulósicos presentes (RISICA *et. al.*, 2010; MOURÃO, 2008; SANDOLO *et. al.*, 2009).

Segundo o trabalho de Ribeiro *et. al.* (1984), a goma guar é biopolímero não iônico, com isso, suas soluções são rígidas à mudanças de força iônica no meio. Contudo, cátions polivalentes como o cálcio, cromo e alumínio podem baixar a solubilidade da goma guar, sob alguns valores de pH. Porém, esta barreira de estabilidade físico-química pode ser resolvida com a adição de ácidos, como o ácido cítrico, tartárico e o ortofosfórico.

2.5 Hidroxipropilguar (HPG)

Ao longo dos anos a goma guar tem sido modificada quimicamente com o objetivo de torná-la mais solúvel em água e com o menor teor de resíduos insolúveis quando comparados com a goma guar (RISICA *et. al.*, 2010; GITHENS; BURNHAM, 1997). Essas modificações acontecem através da inserção de diferentes grupos laterais em substituição dos grupos hidroxila em sua estrutura química. Como exemplo dessas modificações são o carboximetilguar (CMG), caboximetilhidroxipropilguar (CMHPG) e o hidroxipropilguar

(HPG), que são os derivados mais obtidos na literatura (REDDY *et. al.*, 2011 ; ZHANG *et. al.*, 2011). A Tabela 3 mostra os tipos de derivados da goma guar.

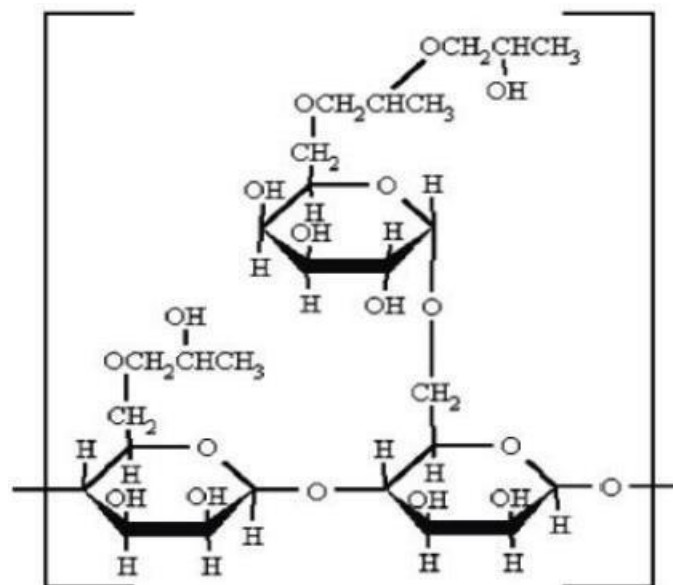
Tabela 3 – Padrões de substituição da goma guar.

Tipo de Derivado	Substituição da Estrutura	Carga Iônica
Hidroxipropilguar (HPG)	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	Não iônico
Carboximetilguar (CMG)	$-\text{CH}_2-\text{COO}^-\text{NA}^+$	Aniônico
Carboximetilhidroxipropilguar (CMHPG)	$-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ $-\text{CH}_2-\text{COO}^-\text{NA}^+$	Aniônico

Fonte: Silva (2015).

Através de uma reação de propoxilação da goma guar, utilizando o óxido de propileno na presença de um catalizador alcalino, é obtido o HPG. Esse polímero apresenta maior solubilidade e estabilidade térmica quando comparado com a goma guar, isso devido a presença de grupos hidroxipropil (Figura 5) em sua estrutura (ZHANG *et. al.*, 2011).

Figura 5 – Estrutura molecular do hidroxipropilguar (HPG).



Fonte: Silva (2015).

Devido a presença de grupos hidroxila em sua estrutura, o HPG tem a capacidade de formar interações intermoleculares do tipo ligação de hidrogênio, porém a intensidade dessas ligações é regida pela presença dos grupos hidroxipropil, o que acontece devido fatores estéricos (CHENG *et. al.*, 2002).

Quanto as propriedades químicas do HPG, dependem especialmente do grau de substituição e da distribuição dos grupos hidroxipropil presentes em sua estrutura. O grau de substituição molar é a razão do número de mols de grupos hidroxipropil por mol de unidade de açúcar (KONO *et. al.*, 2015). Através do controle estequimétrico de substituição dos grupos hidroxipropil, pode-se obter o HPG com diferentes graus de substituição molar (SILVA, 2015).

Soluções feitas a partir do HPG possuem um comportamento pseudoplástico, sendo suas taxas de hidratação influenciadas levemente pela adição de sais e de solventes orgânicos, como por exemplo o álcool (RISICA *et. al.*, 2010). Com isso, o HPG pode ser aplicado em diferentes indústrias, como por exemplo, a indústria de cosméticos, têxtil, tratamento de água, explosivos e a indústria do petróleo (GILBERT *et. al.*, 2012).

Tanto o HPG, quanto a goma guar são polímeros que podem ser reticulados, através da adição de um agente reticulante, como por exemplo o ácido bórico, que em determinados valores de pH é convertido em íons borato, favorecendo ligações cruzadas, deixando a solução mais viscosa (LIU *et. al.*, 2010).

2.6 Reticulação Polimérica

A reticulação polimérica é um processo químico ou físico que resulta na formação de ligações cruzadas entre as cadeias de polímeros, levando à criação de uma estrutura tridimensional. Essa reação de reticulação é essencial para modificar as propriedades físicas e químicas dos polímeros, conferindo-lhes maior resistência, rigidez e estabilidade térmica (ODIAN, G., 2004).

Para que as ligações ocorram é necessária a adição de substâncias, conhecidas como agente reticulante, normalmente são substâncias de baixa massa molar e com sítios reativos que formam ligações intermoleculares ou intramoleculares (BERGR *et. al.*, 2004).

A literatura mostra várias substâncias que podem ser utilizadas como agente reticulante, tais como metais de transição (LOCKHART *et. al.*, 1994; HOLTSCRAW; FUNKHOUSER, 2010), reticulantes orgânicos (GABBEN *et. al.*, 1985; SANDOLO *et. al.*, 2009), ácido bórico (GOUVÊA *et. al.*, 2008; OCHIAI *et. al.*, 1981; GAO *et. al.*, 2007).

Na indústria esse processo de reticulação é de grande importância e possuem aplicação em diversos setores, como o farmacêutico (BUILDERS; KUNLE; ADIKWU, 2008), alimentício (RAMÍREZ *et. al.*, 2011), na indústria petrolífera (STRINGFELLOW *et. al.*, 2004), entre outros.

As reticulações poliméricas são induzidas para modificações das propriedades de estabilidade química, térmica e rigidez estrutural das cadeias poliméricas, no qual estão diretamente ligadas ao grau de reticulação do polímero (REDDY; YANG, 2009). Através dos estudos de Barlkanl e Hepburn (1991), nota-se que à medida em que há interação total entre as cadeias poliméricas, a massa molar do sistema aumenta gradativamente.

Ao decorrer do processo de reticulação química, usam-se agentes reticulantes em excesso, para que seja garantido o máximo de ligações entre as ramificações das cadeias poliméricas. Entretanto vários fatores podem interferir nesse processo, tais como a temperatura, o pH, o tempo de reticulação e a força iônica do meio (BEREAN *et. al.*, 2013; JAO *et. al.*, 2009; BULGARELLI *et. al.*, 1999; BAO *et. al.*, 2014).

2.7 Hidrogéis poliméricos

Os hidrogéis são estruturas que possuem um alto potencial em absorver água. Se constituem de uma ou mais redes poliméricas tridimensionalmente estruturadas, construídas por cadeias de macromoléculas conectadas por ligações cruzadas, seja por ligações covalentes ou reticulações, ou interações físicas (OVIEDO *et. al.*, 2008).

Os hidrogéis possuem uma característica derivada do grau de conectividade (ligações cruzadas e entrelaçamento físico) entre as cadeias, que é a insolubilidade em água, isso proporciona uma estrutura em rede e a integridade física do sistema (GUPTA *et. al.*, 2002).

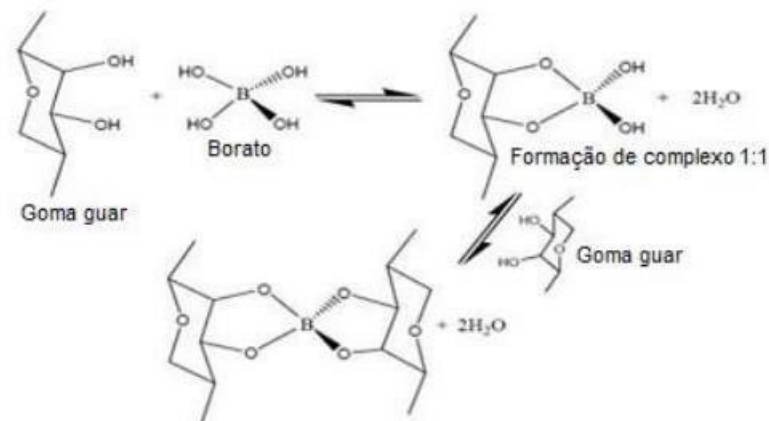
Devido a sua flexibilidade sobre outros materiais poliméricos, os hidrogéis vêm sendo utilizados em diferentes indústrias, que vão desde a medicina até a indústria do petróleo. Os hidrogéis podem responder a estímulos como variações de pH, força iônica, temperatura e corrente elétrica, e devido essa capacidade de responder rapidamente a esses estímulos, tais sistemas são chamados de materiais “inteligentes” (SOPPIMATH *et. al.*, 2001).

Hidrogéis de goma guar podem ser obtidos através da reticulação com íon borato. Analisando o estudo de Bishop *et. al.* (2004), ele diz que, em solução aquosa, o ácido bórico coexiste em equilíbrio com o íon borato, em função do pH. O íon borato tem se mostrado bastante promissor como agente reticulante para polímeros que possuem grupos hidroxila e a sua ação acarreta na formação de uma gel. Os grupos cis-diol presente na cadeia polimérica da goma guar complexam com o auxílio dos íons borato. Portanto, diferentes moléculas de goma guar podem, dessa maneira, estar conectadas através dos íons borato, criando ligações cruzadas entre as cadeias, e são essas ligações cruzadas que deixam a solução com propriedades de gel (TAYAL; PAI; KHAN, 1999).

Com relação ao Hidroxipropilgumar, o processo é dividido em duas etapas. Na primeira etapa, os íons borato se associam com as hidroxilas cis-diol do hidroxipropilgumar, com o intuito de formar estruturas de 1:1, ou seja, numa razão de um borato para um do hidroxipropilgumar. Já na segunda etapa, ocorre a formação de estruturas do tipo 1:2, em razão de um de borato para dois do hidroxipropilgumar, do mesmo jeito em que ocorre na primeira etapa, associação dos íons borato com as hidroxilas cis-diol contidas na estrutura do polímero (GEY *et. al.*, 1998).

Para os dois polímeros o íon borato se associa com os hidroxilas do polímero de acordo com a Figura 6. Esses íons são compostos bastante reativos, consequência do seu número de coordenação igual a quatro (POWER; WOODS, 1997), e podem ser derivados do ácido bórico, bórax ou sais organoborato (AL-MOHMMED *et. al.*, 2007).

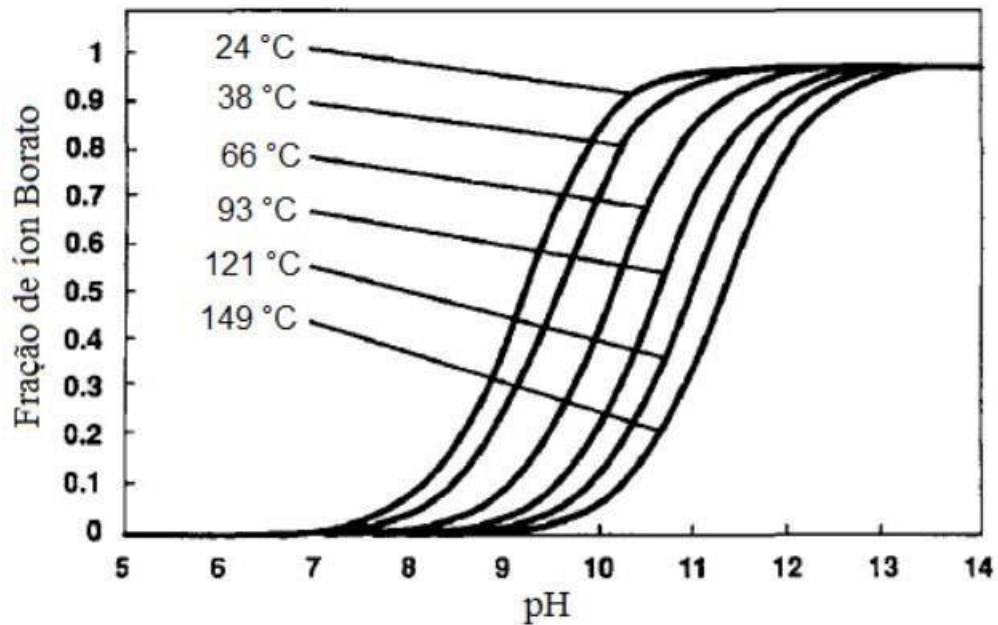
Figura 6 – Processo de reticulação da goma guar e do HPG com íons borato.



Fonte: Silva (2015).

O pH e a temperatura são importantes parâmetros no processo de conversão do ácido bórico em íons borato. A Figura 7 mostra a dependência da formação dos íons borato em relação a esses parâmetros. Percebe-se que a formação dos íons borato acontece a partir do pH 8,0, de acordo com os estudos de Kruijf *et. al.*, (1993). Com relação a temperatura, nota-se que a medida em que aumenta, para um mesmo valor de pH, a conversão dos íons borato diminui.

Figura 7 – Dependência da formação do íon borato em relação a temperatura e pH.



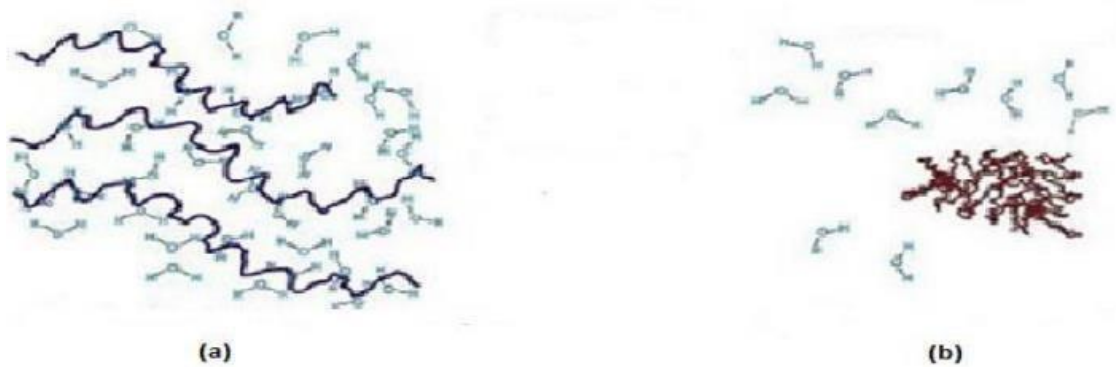
Fonte: Harris (1993).

2.8 Efeito *salting-out*

Quando a concentração salina aumenta em uma solução aquosa coloidal, provoca-se floculação. Esse fenômeno é conhecido por efeito *salting-out*. Essa adição de sal pode alterar a hidratação promovida pelas moléculas de água orientadas que circundam o polímero (Figura 8). Esse processo resulta em um aumento do caráter hidrofóbico da cadeia polimérica (EECKMAN; AMIGHI; MOËS, 2001).

A presença do sal aumenta a polaridade da solução aumentando as interações hidrofóbicas, no qual favorece a agregação, que resulta em uma menor solubilidade do polímero em água e, conseqüentemente um decréscimo na temperatura de turvação (LIU *et al.*, 2010).

Figura 8 – Efeito *salting-out* aplicado a cadeia polimérica: a) sem a presença de sais; b) com a presença de sais.



Fonte: Vieira (2007).

O efeito *salting-out* pode ser utilizado para separar fases ricas em polímeros e sais. A natureza da fase aquosa, juntamente com as diferenças nas propriedades, principalmente em termos de polaridade, viabiliza a separação de substâncias com propriedades complexas. Apesar de ser um esforço significativo compreender a separação desses sistemas em duas fases, os detalhes do mecanismo de separação ainda não estão completamente esclarecidos. Realmente, a adição de sais em soluções contendo polímero é muito complexa, especialmente devido à existência de grandes números de interações intermoleculares, interações do tipo íon-água, íon-polímero, polímero-água, e polímero-polímero. Essa perspectiva se torna ainda mais complicada pelo fato da extensão das interações variarem em relação aos tipos de íons e polímeros envolvidos (SADEGHI; JAHANI, 2012).

3 MATERIAS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Nesta etapa serão descritos os materiais, os métodos e os procedimentos experimentais desenvolvidos para obtenção dos resultados. Os biopolímeros e os reagentes utilizados neste trabalho foram obtidos comercialmente e estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 – Reagentes e fabricantes.

Reagente	Fabricantes
Goma Guar	Êxodo Científica
Hidroxipropilguar	OLP
Ácido Bórico	Hold Scientific
Cloreto de Sódio	Perfyl Tech
	Dinâmica
Cloreto de Cálcio	Química
Hidróxido de Sódio	Impex
Hexano	LS Chemilcals

Fonte: Autoria Própria.

3.2 Metodologia

Com base na literatura, diferentes concentrações de goma guar e de hidroxipropilguar foram relacionadas com diferentes concentrações de ácido bórico, e aplicadas ao processo de remoção de óleos e graxas. A avaliação foi realizada através espectrofotometria no UV-VIS.

3.2.1 Construção da curva analítica

Inicialmente, foi construída uma curva analítica de absorvância versus concentração, em que foram preparados padrões de óleo cru que variam entre 0 e 200 mg/L. Em seguida esses padrões foram lidos no espectrofotômetro e, a partir dos dados obtidos, construída a curva analítica.

3.2.2 Preparação da água produzida sintética

Para a água produzida sintética foi utilizada uma metodologia adaptada de Rocha (2018). Primeiramente, em um balão volumétrico, foi preparado dois litros de salmoura, utilizando água destilada com adição de cloreto de sódio e cloreto de cálcio numa proporção de 10:1, para uma concentração de 55.000 ppm. sob agitação constante em um agitador magnético. Em seguida um litro da salmoura foi adicionado a um béquer e posto em um dispersor de Solos sob agitação de 16.000 rpm por cinco minutos. Então foi adicionado o petróleo, cerca de um grama, e deixado sob agitação por mais cinco minutos. Passado o tempo, foi acrescentado o restante da salmoura e agitado por mais 10 min. Posteriormente, a solução ficou em repouso por 30 min e depois, com o auxílio de papel filtro, foi retirado o óleo sobrenadante, como pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Água produzida sintética.



Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Planejamento Experimental

A água produzida sintética preparada, foi distribuída em nove béqueres com 200 ml da água. Em seguida foram pesadas as massas da goma guar, hidroxipropilguar e ácido bórico, escolhidas com base no estudo de Paixão (2015), conforme a Tabela 5.

Depois de pesados os polímeros, para cada béquer foi adicionado uma massa do polímero e do ácido bórico, de modo que após a adição do polímero, foi agitado por dois

minutos no Dispersor de Solos, em seguida adicionado o ácido bórico e agitado por mais dois minutos. Após a agitação as soluções foram submetidas a correção de pH, com o auxílio de pHmetro, foi adicionado hidróxido de sódio 8N até um $\text{pH} \geq 12$. Todo o processo foi realizado em triplicata.

Tabela 5 – Formulações de géis de goma guar e hidroxipropilguar.

Polímero	Concentração do Polímero (g/L)	Concentração do Ácido Bórico (g/L)
Goma Guar	4	2,5
		2,75
		3
	4,5	2,5
		2,75
		3
	5	2,5
		2,75
		3
Hidroxipropilguar	4	2,5
		2,75
		3
	4,5	2,5
		2,75
		3
	5	2,5
		2,75
		3

Fonte: Autoria Própria.

3.2.4 Avaliação do pH na remoção de óleos e graxas

A partir dos resultados obtidos no ensaio de tratamento de água, foi escolhido o melhor resultado de remoção, para avaliar a variação dele quanto a mudança de pH. De acordo com o estudo de Kruijf *et. al.*, (1993), a formação dos íons borato ocorre a partir do pH 8,0 para uma temperatura de 24 °C. Então, foi utilizado a melhor concentração dos polímeros com os pH's 9,0; 10,0; 11,0; 12,0 e 13,0.

3.2.5 Determinação do teor de óleos e graxas (TOG)

Utilizando uma metodologia adaptada de Silva (2020), o desempenho do polímero empregado no tratamento da água produzida, foi realizado nos tempos de 3, 6, 9 e 24 horas após o colapso. Esse procedimento consiste na retirada de 10 ml da solução e colocada em um funil de decantação, em seguida a adição de 10 mL de n-hexano, para a extração do óleo contido na água, realizando uma extração líquido-líquido, em seguida a solução foi agitada manualmente por um minuto e deixada em repouso para a separação das fases. Após a separação da água e do n-hexano, foi retirada a água e em seguida retirada uma alíquota do n-hexano e levada para o espectrofotômetro lido no UV-VIS.

3.2.6 Mapeamento por superfície de resposta e Diagrama de Pareto

Para o mapeamento por superfície de resposta, com o intuito de mapear os principais efeitos e suas interações durante o processo de complexação, foi adotado como resultado a eficiência de remoção de óleos e graxas após o planejamento fatorial 2^3 . Os níveis dos fatores foram denominados -1 (mínimo), 0 (médio) e 1 (máximo). Para o processamento dos dados, foi utilizado o programa estatístico Statistic Software, versão 7.0, para obtenção das superfícies de respostas dos modelos ajustados (linear e quadrático) para a viscosidade aparente com base nos intervalos dos parâmetros avaliados. Após uma triagem dos fatores de planejamento fatorial, uma análise da superfície de resposta usando planejamento central composto foi realizada para mapear a influência da viscosidade aparente com base nas variáveis e níveis utilizados. Para o diagrama de Pareto foram realizados para cada variável independente, sendo avaliados estes efeitos e a interação entre as variáveis: goma guar e ácido bórico, com significância e $p \leq 0,05$.

Tabela 6 – Variáveis e níveis utilizados no Statistic Software.

Variáveis Analisadas	Níveis
Goma Guar	4,0 (unidade) (-1) – 4,5 (unidade) (0) – 5,0 (unidade) (+1)
Hidroxipropilguar	4,0 (unidade) (-1) – 4,5 (unidade) (0) – 5,0 (unidade) (+1)
Ácido Bórico	2,5 (-1) – 2,75 (0) – 3,0 (+1)

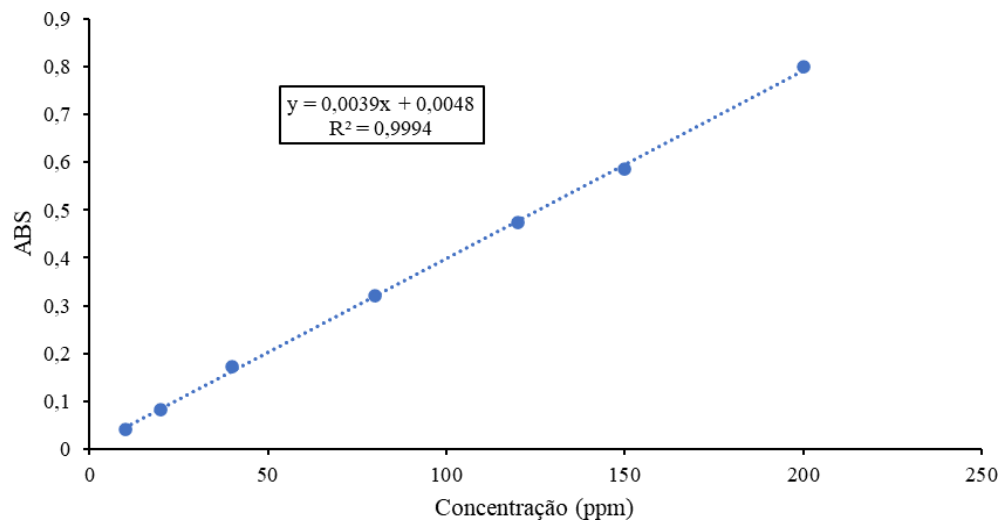
Fonte: Aatoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curva analítica

Após uma varredura no espectrofotômetro (200 – 900 nm), ficou definido um comprimento de onda de 330 nm. Este comprimento de onda foi utilizado para definir os valores do teor de óleos e graxas. Então, a partir dos padrões de petróleo foi construído uma curva que relaciona a absorvância com a concentração como mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Curva analítica para determinação do TOG.



Fonte: Autoria Própria.

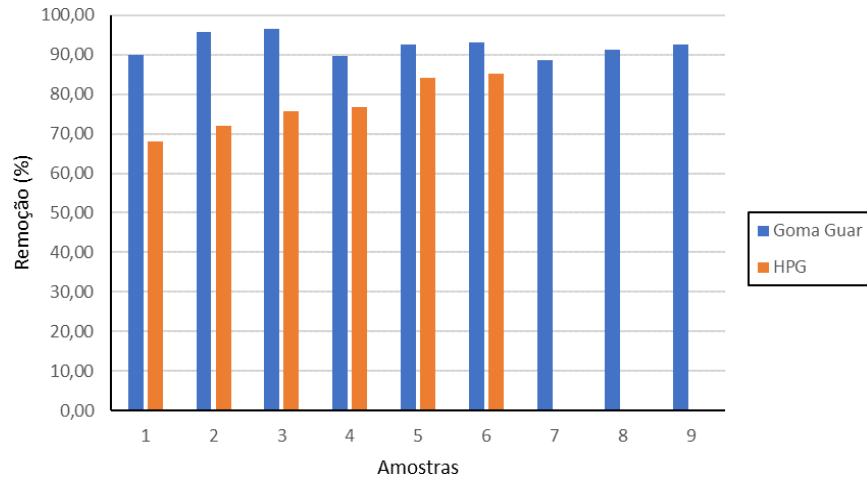
Depois de plotados os pontos, foi realizado a linearização da curva para obtenção da equação. A partir desses valores, pode-se dizer que, como o valor do R^2 ficou muito próximo de 1, é um valor ótimo, pois permite a realização de previsões de concentrações acima de 200 ppm e abaixo de 10 ppm, ou seja, valores que não estejam dentro do intervalo da curva.

4.2 Remoção do óleo em água produzida sintética

As Figuras 11, 12, 13 e 14 comparam a remoção obtida com o polímero da goma guar com a remoção obtida com o hidroxipropilguar, as quais foram construídas utilizando os

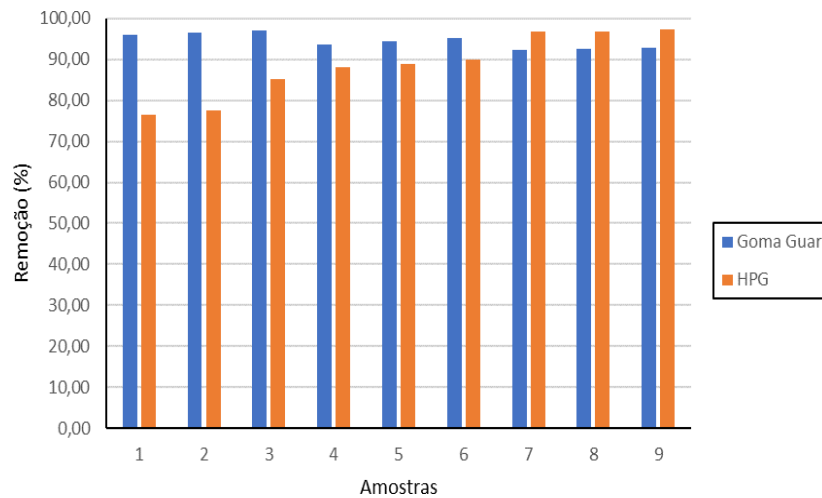
dados contidos no Apêndice A, em tempos de 3, 6, 9 e 24 h após a complexação dos polímeros na água produzida sintética, respectivamente.

Figura 11 – Remoção do óleo das amostras com tempo de 3 horas após o colapso.



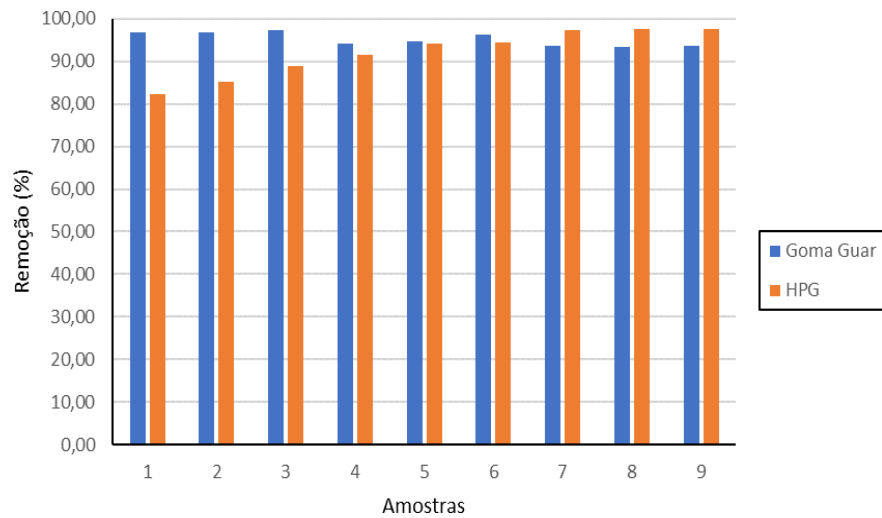
Fonte: Autoria própria.

Figura 12 – Remoção do óleo das amostras com tempo de 6 horas após o colapso.



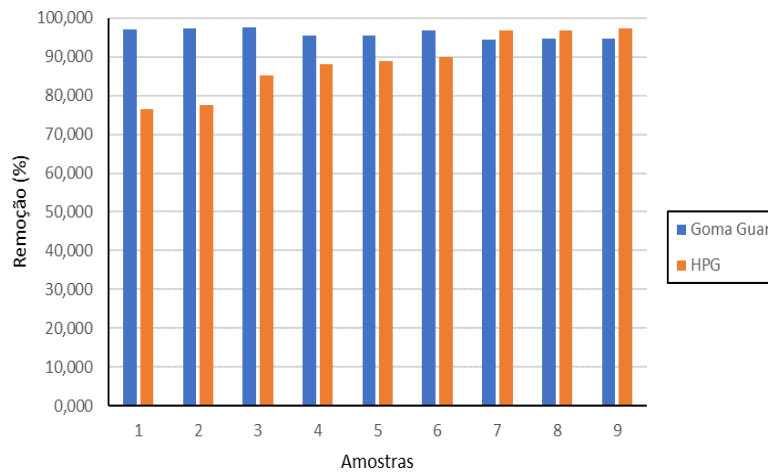
Fonte: Autoria própria.

Figura 13 – Remoção do óleo das amostras com tempo de 9 horas após o colapso.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14 – Remoção do óleo das amostras com tempo de 24 horas após o colapso.



Fonte: Autoria própria.

Diante dos valores apresentados, nota-se que nas primeiras três horas é onde ocorre a maior mudança no sistema para a goma guar. Essa mudança é notável visualmente (Figura 15), mostrando que a complexação não leva muito tempo para ocorrer, fazendo com que os valores da concentração de óleos e graxas diminuam muito em pouco tempo. Apesar dos valores de concentração diminuírem bastante, nenhuma concentração de goma guar junto com o ácido bórico foi suficiente para reduzir a concentração de óleo ao parâmetro estabelecido pelo CONAMA no tempo de 3h.

Figura 15 – Amostras após de 3 h de complexação.



Fonte: Autoria própria.

Depois das três primeiras horas ainda ocorrem mudanças nas soluções, porém não tão grandes, mas de grande importância. Na análise de seis horas os valores de absorvância diminuíram um pouco. Essa redução na absorvância, por mais que pequena, fez com que uma solução apresentasse um valor de TOG dentro dos parâmetros estabelecido pelo CONAMA, como é o caso da amostra 3, que de três horas estava um pouco acima do limite, e nas seis horas ficou dentro dos parâmetros, atingindo um valor de 17,658 mg/L. Após nove horas de complexação, as soluções se mantiveram no mesmo caminho das seis horas, onde os valores de absorvância diminuíram pouco, mas algumas soluções atingiram valores ótimos. Nesse caso as amostras 1 e 2 ficaram dentro dos parâmetros e a amostra 6 ficou um pouco acima do limite estabelecido. Seguindo esse mesmo padrão a amostra 6 atingiu um valor ótimo após 24 h de complexação, já as amostras 4 e 5 ficaram um pouco acima do limite. Em relação as amostras 7, 8 e 9 em nenhuma análise atingiram valores dentro dos parâmetros.

Com o passar do tempo as amostras tendem a diminuir o valor da absorvância, pois ao longo do tempo mais íons borato são formados e complexados com o polímero. Ao comparar as amostras 1, 2 e 3 com as 4, 5 e 6 e as 7, 8 e 9 onde a concentração de polímero muda, percebe-se um aumento dos valores de absorvância, pois a partir de uma concentração 4,5 g/L da goma guar, já se atinge um excesso de polímero e, conseqüentemente, a solução não apresenta íons borato suficiente para complexar todas as moléculas do polímero. Isso acarreta uma má formação do hidrogel, deixando óleo disperso na solução.

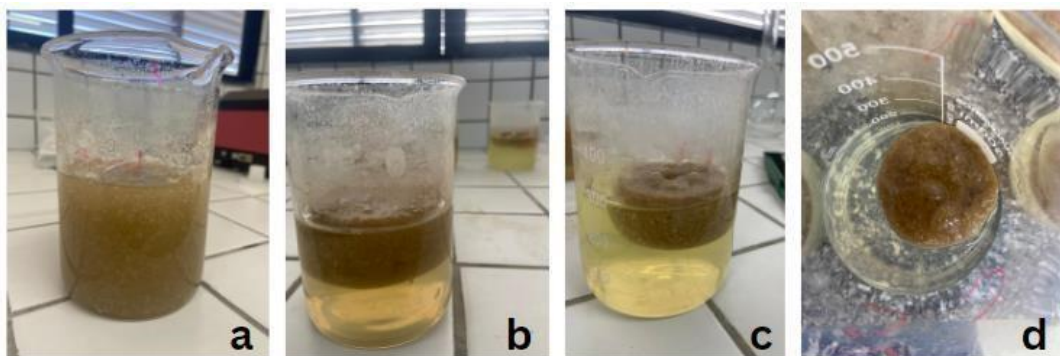
Já para o hidroxipropilgumar, nas três primeiras horas, não se mostrou um bom polímero para o uso em tratamento de água produzida. Assim como a goma guar, nos primeiros momentos da complexação já é formado o hidrogel, porém para as amostras 7, 8 e 9 a solução ficou muito viscosa (Figura 12) e o hidrogel não foi formado rapidamente, e com isso não foi possível obter a leitura após três horas de complexação.

Depois de seis horas, as amostras se comportam como a goma guar, onde o teor de óleos e graxas diminui aos poucos, ao modo em que a concentração de ácido bórico aumenta. Para as amostras 7, 8 e 9 o hidrogel começa a se formar e já se torna possível realizar a leitura do TOG na água, no qual já começa com um valor muito baixo em comparação com as outras amostras, se tornando as amostras com os melhores resultados durante as 24 horas.

Após nove horas da complexação o hidrogel das amostras 7, 8 e 9 já está quase formado (Figura 16), porém já é possível retirá-lo da água, na qual já apresenta um valor ótimo de concentração do óleo. Quanto as outras amostras, seguem o mesmo padrão da goma guar, porém a concentração do hidroxipropilgumar se mostrou insuficiente para as amostras 1, 2 e 3. Já para as amostras 5 e 6, obtiveram valores aproximados da norma padrão, estabelecida pelo CONAMA.

Quanto as amostras depois de 24 h, a concentração continuou a diminuir aos poucos. As amostras 1, 2, 3, 4 e 5, não atingiram valores dentro da norma padrão. A amostra 6 atingiu um valor dentro da norma, porém somente após 24 h. Já as amostras 7, 8 e 9 obtiveram excelente resposta ao tratamento, atingindo valores de 98,43 % de remoção do óleo, apesar de no início levarem um pouco mais tempo para complexar.

Figura 16 – Amostra 9 de hidroxipropilgumar com: a) após 3 horas; b) após 6 horas; c) após 9 horas; d) 24 horas após a complexação.

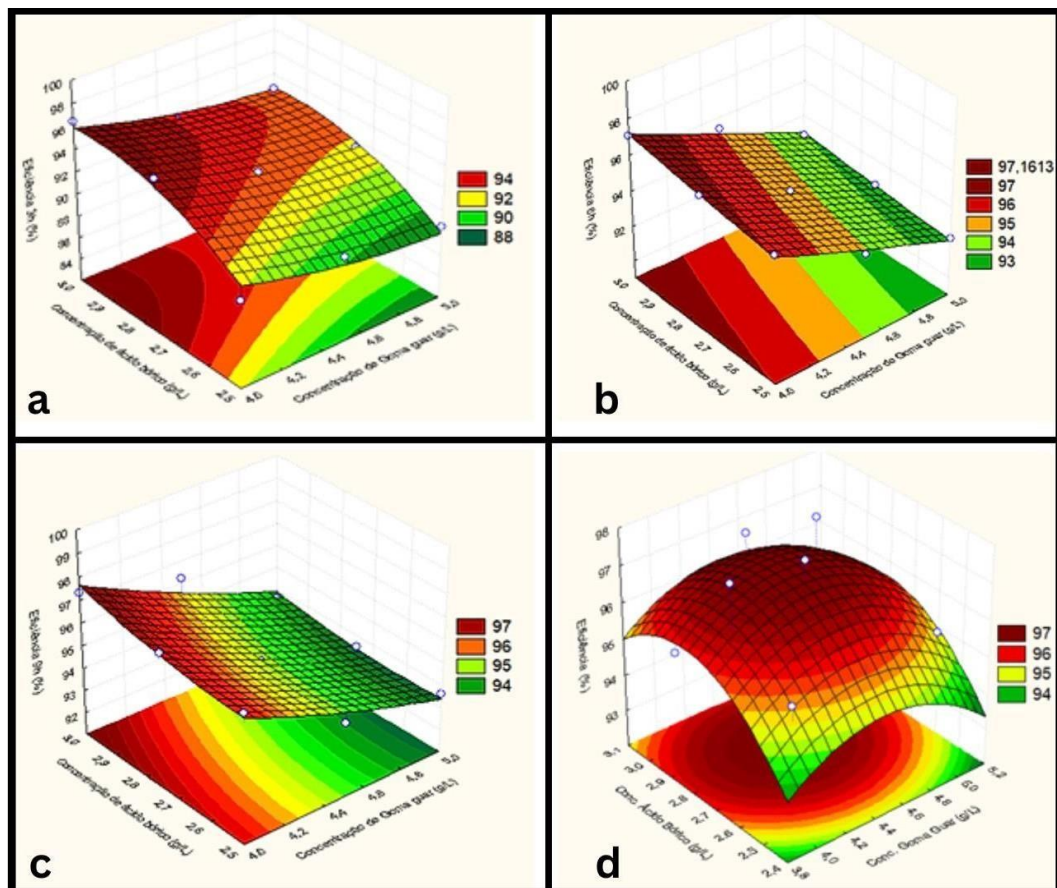


Fonte: Autoria própria.

4.3 Mapeamento por superfície de resposta

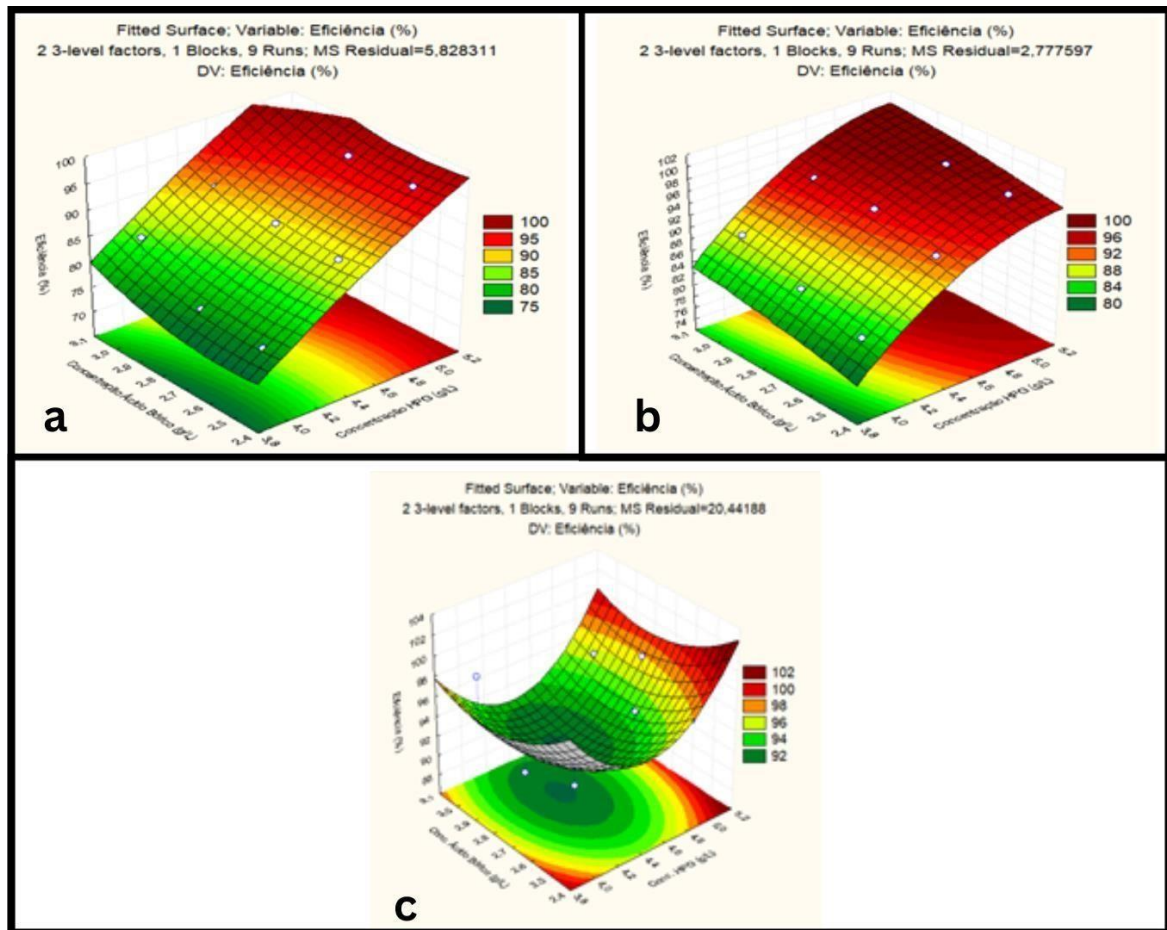
A Figura 17 informa os resultados quanto ao mapeamento por superfície de resposta após o tratamento com o polímero de goma guar em tempos de 3, 6, 9 e 24h. Para o tratamento realizado com o hidroxipropilgumar, os resultados do mapeamento estão representados na Figura 18. Não foi possível analisar a amostra de 3h do hidroxipropilgumar por falta de resultados para esse tempo.

Figura 17 – Mapeamento por superfície de resposta para a goma guar com tempo de: a) 3 h; b) 6 h; c) 9 h e d) 24 h.



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 – Mapeamento por superfície de resposta para o HPG com tempo de: a) 6h; b) 9h; c) 24h.



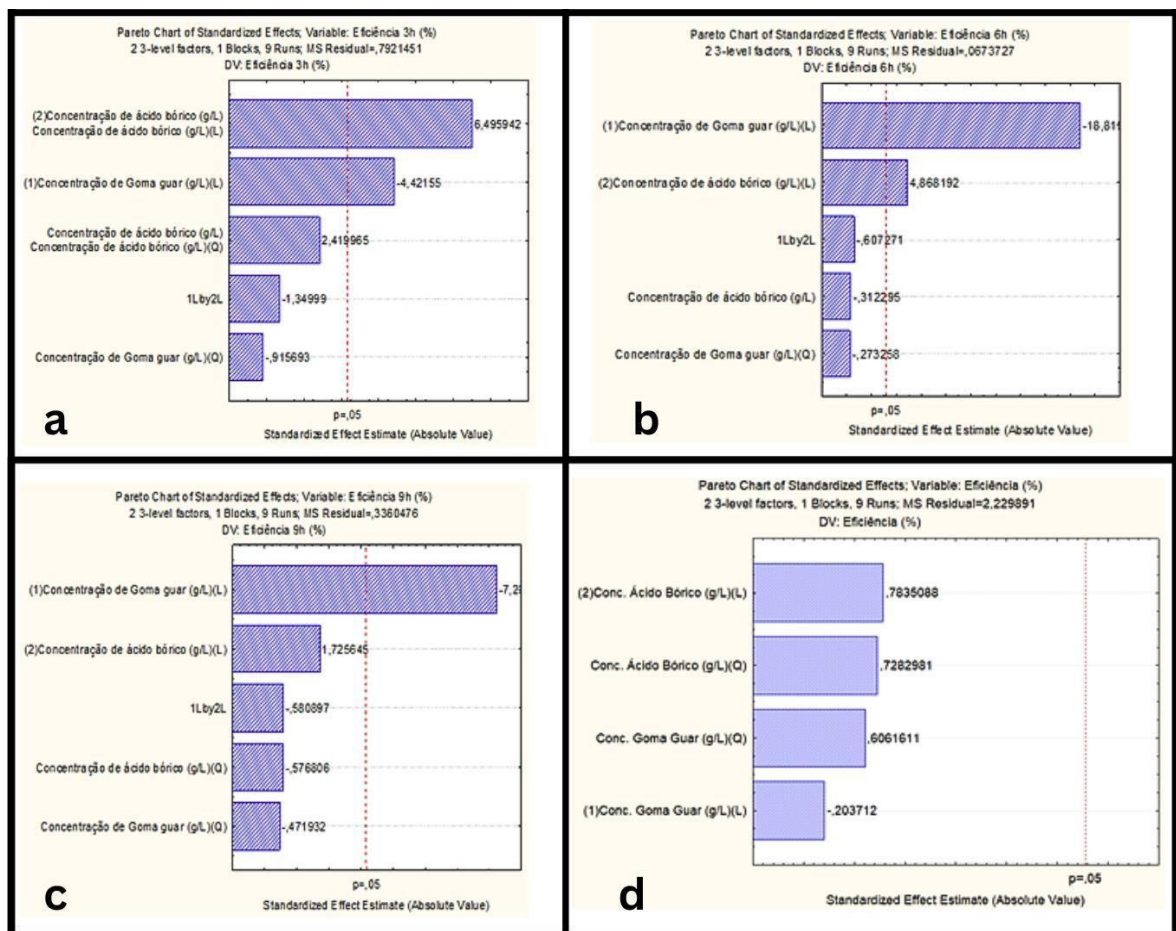
Fonte: Autoria própria.

Analisando os dados apresentados percebe-se uma mudança de comportamento com o aumento do tempo de reticulação. Para a goma guar, ao modo em que o tempo de reticulação aumenta a eficiência de remoção também aumenta principalmente nas três primeiras horas. O ácido bórico desempenha um papel fundamental para a goma guar, a eficiência de remoção aumenta conforme a quantidade de ácido bórico aumenta. Já para o hidroxipropilgumar a concentração do polímero desempenha um papel superior ao ácido bórico, onde a eficiência de remoção aumenta conforme aumenta-se a concentração do polímero. Após 6h de reticulação o hidroxipropilgumar começa a apresentar os resultados e já começa com uma concentração de óleo ótima para a maior concentração de polímero.

4.4 Diagrama de Pareto

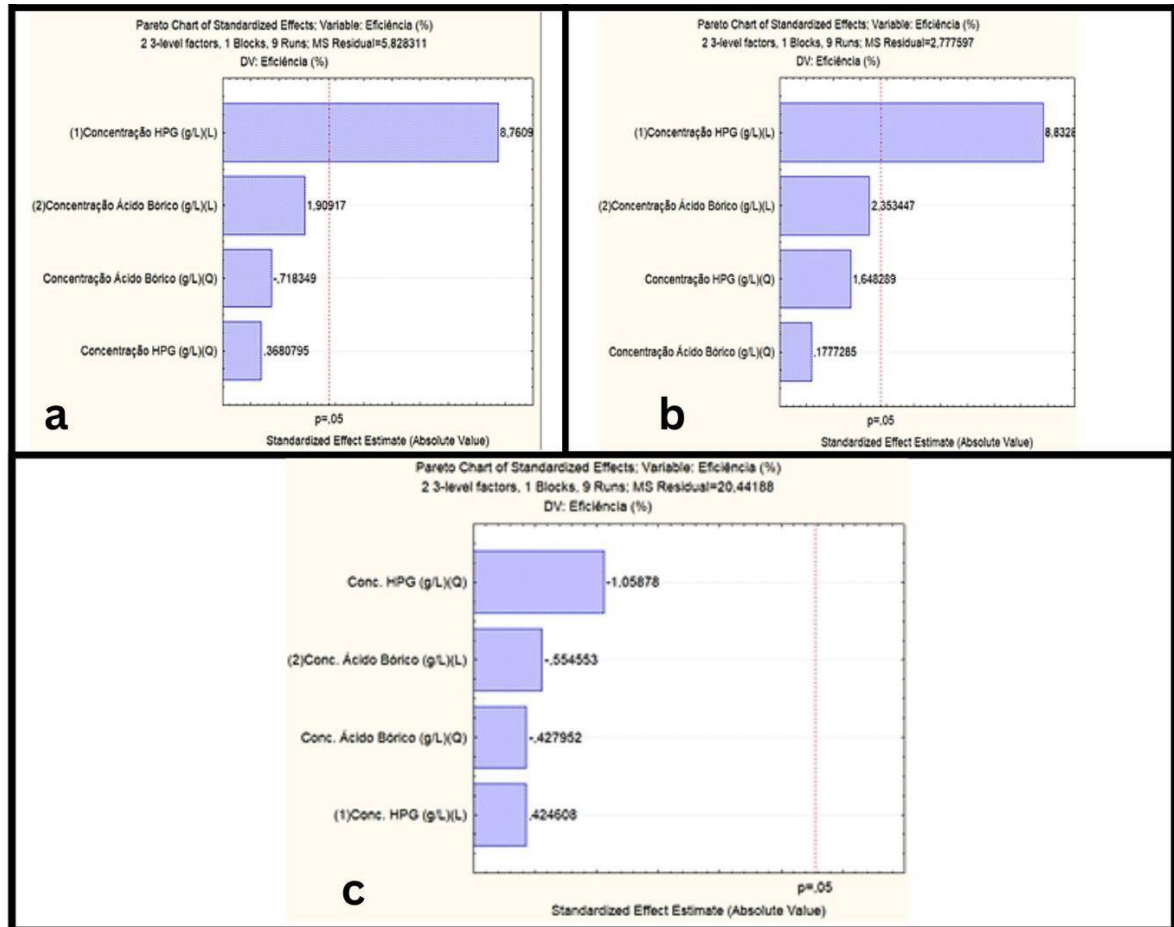
A Figura 19 apresenta os resultados quanto ao diagrama de Pareto após o tratamento com o polímero de goma guar em tempos de 3, 6, 9 e 24h. Para o tratamento realizado com o hidroxipropilgumar, os resultados do diagrama de Pareto estão representados na Figura 20. Não foi possível analisar a amostra de 3h do hidroxipropilgumar por falta de resultados para esse tempo.

Figura 19 – Diagrama de Pareto para a goma guar em diferentes tempos de: a) 3 h; b) 6 h; c) 9 h e d) 24 h.



Fonte: Autoria própria.

Figura 20 – Diagrama de Pareto para o HPG em diferentes tempos de: a) 6 h; b) 9 h; c) 24 h.



Fonte: Autoria própria.

A partir da análise dos diagramas de Pareto, o qual analisa a influência das variáveis estudadas e suas interações na variável resposta (percentual de Remoção), para uma faixa de 95 % de confiança. Para a goma guar, nas três primeiras horas o ácido bórico, é a variável que possui maior significância, isso significa que ao modo que a concentração de ácido bórico aumenta o percentual de remoção também aumenta. Percebe-se que a significância do ácido bórico diminui ao longo do tempo, e a concentração do polímero se torna a variável com maior significância. Para a o hidroxipropilgumar a concentração do polímero é a variável que possui maior significância mesmo ao longo do tempo. Para os dois polímeros no tempo de 24h as variáveis não possuem mais significância, e o percentual de remoção não aumenta mais. Alguns valores ficaram negativos, isso significa uma relação inversa, ou seja, à medida que essa variável aumenta o percentual de remoção diminui.

4.5 Avaliação do pH na remoção de óleos e graxas

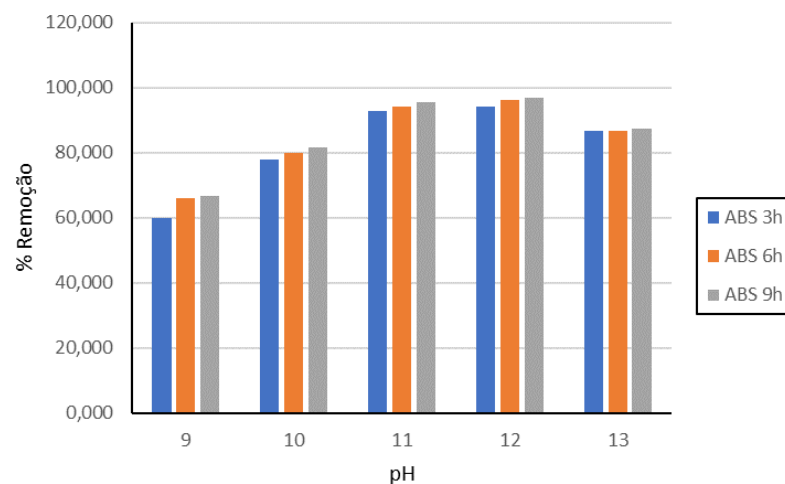
Quanto a avaliação do pH, foram utilizados os pH's de 9,0; 10,0; 11,0; 12,0 e 13,0 e avaliado como as amostras se comportam ao longo do tempo em relação a remoção de óleos e graxas. Para isso foram utilizados os tempos de 3, 6 e 9h, porém com a concentração de polímero e ácido bórico que apresentou maior remoção de óleo. Os dados estão dispostos no Apêndice B, e o comparativo para a goma guar na Figura 22. Todas as amostras foram feitas em triplicata. Inicialmente as amostras se encontravam conforme a Figura 21, ao final do processo estavam de acordo com a Figura 23. Já para as amostras do hidroxipropilguar o comparativo se encontra na Figura 25. A Figura 24 mostra como as amostras estavam inicialmente, e a Figura 26 ao final do processo.

Figura 21 – Amostras antes de começar o colapso da goma guar.



Fonte: Autoria própria.

Figura 22 – Remoção do óleo em função do pH e do tempo para a goma guar.



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Amostras ao final do tempo 9h da goma guar.



Fonte: Autoria própria.

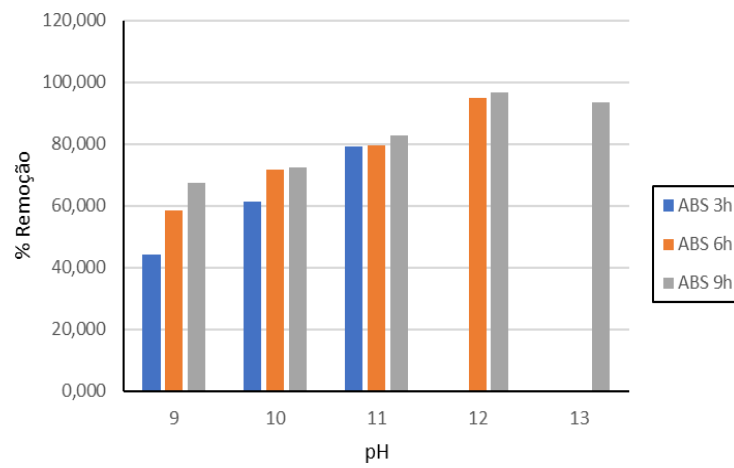
A influência do pH na remoção é bem perceptível visualmente. Inicialmente as amostras se encontram numa tonalidade bem escura, após o tempo de 9h as amostras ficam com a coloração gradativa de mais para menos escuro, e volta a escurecer no pH 13, essa mudança de coloração é o reflexo da remoção de óleo, que também acontece de forma gradativa conforme aumenta-se o pH, até 12,0, e decai quando tem-se o pH 13,0. Em relação ao pH 13,0 acontece que a quantidade de hidróxido de sódio é maior, e a solução se torna muito viscosa influenciando negativamente no colapso do gel, o qual leva mais tempo para ocorrer, e não ocorre de forma bem-sucedida. Já para as outras amostras, é notável o aumento da remoção conforme aumenta-se o pH, confirmando que para um melhor resultado o pH ideal é o pH 12,0, entretanto o pH 11,0 também apresentou valores de concentração de óleo dentro das legislações.

Figura 24 - Amostras antes de começar o colapso do HPG.



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Remoção do óleo em função do pH e do tempo para o HPG.



Fonte: Autoria própria.

Figura 26 – Amostras ao final do tempo 9h do HPG.



Fonte: Autoria própria.

Quanto ao hidroxipropilguar, ocorre de forma semelhante a goma guar, onde ao aumentar-se a o pH, aumenta-se a remoção do óleo, confirmando também que o pH que melhor se sobressai é o pH 12,0. Quanto ao pH 13,0 acontece de forma análoga a goma guar, uma quantidade maior de hidróxido de sódio, acarreta numa solução muito viscosa. Nas três primeiras horas não foi possível ler o pH 12,0 e 13,0 e depois de 6h ainda não foi possível ler o pH 13,0 devido a alta viscosidade da solução, contudo ao analisar a amostra após 9h obteve-se valores de concentração de óleo favorável a legislação.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A presença dos sais (NaCl e CaCl₂) no hidrogel dos polímeros de goma guar e hidroxipropilguar foram responsáveis pelo colapso da estrutura polimérica em decorrência do efeito de *salting-out*. E com o colapso da estrutura, houve a diminuição da solubilidade e, assim, a precipitação dos polímeros. O que foi responsável pela remoção do óleo presente no sobrenadante. Para a goma guar, os resultados apontam que para uma concentração de 4 g/L do polímero em associação com 3 g/L do ácido bórico proporcionaram uma remoção de até 98,55 %, ao longo do tempo. Para o hidroxipropilguar, uma concentração de 5 g/L em associação com 3 g/L do ácido bórico, foi responsável por uma remoção de até 98,43 %, ao longo do tempo. Entretanto algumas combinações de massa de polímero com ácido bórico também obtiveram valores de TOG dentro da norma estabelecida.

Analisando o mapeamento por superfície de resposta, pode-se perceber que os polímeros possuem potencial para adquirir valores de 100 %, os quais não aconteceram, devido alguns fatores, como por exemplo o grau de pureza dos polímeros e dos reagentes, biopolímeros de outros fabricantes podem conter graus de pureza mais elevados, influência da vizinhança no sistema, como pequenas variações de temperatura, velocidade e tempo de agitação do sistema.

Através do diagrama de Pareto, ficou claro que para a goma guar, o ácido bórico é responsável pela maior remoção do óleo, e para o hidroxipropilguar a concentração do polímero é a principal variável influente na remoção do óleo.

Ao analisar os valores de remoção, percebe-se que a goma guar se sobressai em relação ao hidroxipropilguar. A vantagem da goma guar é que teve uma boa remoção em baixas concentrações, pensando em larga escala, seria mais viável trabalhar com a goma guar, visto que demandaria uma quantidade menor de reagentes.

Quanto a análise de pH, percebe-se que o pH 12,0 de fato é o ideal para que o processo de complexação ocorra de forma satisfatória. Contudo para a goma guar o pH 11,0 também gerou resultados bons, assim como o pH 13,0 para o hidroxipropilguar. É importante mencionar que ao final do processo de remoção do óleo, é necessária uma correção do pH das amostras, visto que foi alterado para a formação dos íons borato.

Recomenda-se que posteriormente, sejam analisados outros tipos de biopolímeros, com a presença de outros agentes reticulantes. Também é necessário que um estudo seja realizado com o gel após a complexação, visto que a literatura indica caminhos para a solução

desses géis poliméricos como por exemplo, a recuperação do polímero através de extração sólido-líquido e do óleo através da extração líquido-líquido.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Resolução ANP nº 881, de 08 de julho de 2022. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, 12 jul. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Dados gerais do setor. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/historia-anp-setor>. Acesso em: 11 set. 2023.
- AKCELRUD, L. Fundamentos da Ciência dos Polímeros. Editora Manole Ltda, 2007, ed. 1, cap 1.
- AL-MOHAMMED, A.M. *et. al.* Degradation of High pH Borate Gels. In: INTERNATIONAL PETROLEUM TECHNOLOGY CONFERENCE, 2007, Dubai. Anais... Dubai: Iptc, 2007. Disponível em: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=36892>. Acesso em: 2 maio. 2023.
- AMINI, S. *et. al.* Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil–water separation (DOWS). Chemical Engineering Research and Design, Iran, v. 90, n. 12, p.2186-2195, dez. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876212001785>. Acesso em: 07 maio. 2023.
- AMINI, S. *et. al.* Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil–water separation (DOWS). Chemical Engineering Research and Design, Iran, v. 90, n. 12, p.2186-2195, dez. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876212001785>. Acesso em: 25 abril. 2023
- BACCI, D.; OLIVEIRA A. L.; POMMER, C. Contribuição da abordagem geocientífica no ensino fundamental: tempo geológico, origem do petróleo e mudanças ambientais. Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, 2009, n.º Extra, pp. 3447-3451.
- BALABAN, R. C.; PAIXÃO, M. V. G. (2018). Application of guar gum in brine clarification and oily water treatment. International Journal of Biological Macromolecules. v. 108, 119-126. mar. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813017323279>. Acesso em: 17 fev. 2023.

- BAO, D. *et al.* Preparation and characterization of double crosslinked hydrogel films from carboxymethylchitosan and carboxymethylcellulose. *Carbohydrate Polymers, China*, v. 110, p.113-120, set. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861714003464#>. Acesso em: 12 maio. 2023.
- BARBOSA, Cintya D'angeles do Espírito Santo. Utilização de zeólitas NH₄ – Y como adsorvente de bário em águas produzidas: estudo cinético e termodinâmico. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011. Disponível em: http://bdtd.ufs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=537. Acesso em: 18 maio 2023.
- BEREAN, K. *et al.* The effect of crosslinking temperature on the permeability of PDMS membranes: Evidence of extraordinary CO₂ and CH₄ gas permeation. *Separation And Purification Technology, Australia*, v. 122 p.96-104, fev. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586613006503>. Acesso em: 25 abr. 2023.
- BERGER, J. *et al.* Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. *European Journal Of Pharmaceutics And Biopharmaceutics, Usa*, v. 57 p. 19-34. jan. 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0939641103001619>. Acesso em: 5 abr. 2023.
- BISHOP, M. *et al.* Determination of the mode and efficacy of the cross-linking of guar by borate using MAS 11B NMR of borate cross-linked guar in combination with solution 11B NMR of model systems. *Dalton Transactions, USA*, p. 2621-2634. 28 jul. 2004. Disponível em: <http://pubs.rsc.org/ez18.periodicos.capes.gov.br/en/content/articlepdf/2004/dt/b406952h?page=search>. Acesso em: 02 mar. 2023.
- BRAGA, R. M. Uso de argilominerais e diatomita como adsorvente de fenóis em águas produzidas na indústria de petróleo. Programa de pós-graduação em ciência e engenharia de petróleo. Dissertação De Mestrado. Natal, 2008.
- BUILDERS, P. F.; KUNLE, O. O.; ADIKWUB, M. U. Preparation and characterization of mucinated agarose: A mucin–agarose physical crosslink. *International Journal Of Pharmaceutics, Nigeria*, v. 356, p.174-180, maio 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517308000252>. Acesso em: 25 maio. 2023.
- BULGARELLI, E; FORNI, F; BERNABEI, M.T. Casein/gelatin beads: I. Cross-linker solution composition effect on cross-linking degree. *International Journal Of Pharmaceutics, Italy*, v. 190, p.175-182, nov. 1999. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517399002628>. Acesso em: 16 maio. 2023.
- CANEVAROLO, S. V. Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. Artliber Editora, 2006, ed. 2, p. 34 – 60.
- CARVALHO, P. C. de A. P. Tratamento combinado da água produzida de petróleo - filtração, adsorção e foto-fenton. Tese de Doutorado. UFRN, 2016.

CHAKRABARTY, B.; GHOSHAL, A. k.; PURKAIT, M. k. Crossflow ultrafiltration of stable oil-in-water emulsion using polysulfone membranes. *Chemical Engineering Journal*. India, p. 447-456. 01 dez. 2010. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894710008612>. Acesso em: 14 maio. 2023.

CHENG, Y.; BROWN, K. M.; PRUD'HOMME, R. K. Characterization and Intermolecular Interactions of Hydroxypropyl Guar Solutions. *Biomacromolecules*, New Jersey, v. 3, n. 3 p.456-461, mar. 2002. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/bm0156227>.

Acesso em: 5 abr. 2023.

CHERYAN, M.; RAJAGOPALAN, N. Membrane processing of oily streams. Wastewater treatment and waste reduction. *Journal of Membrane Science*. USA, p. 13-28. 02 jun. 1998. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738898001902#>.

Acesso em: 18 maio. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- CONAMA. Resolução N° 393 de 8 de agosto de 2007, Art.5, 2007. Publicada no DOU n° 153, de 9 de agosto de 2007, Seção 1, páginas 72 - 73.

CURBELO, F. D. da S. Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada.

Dissertação de Mestrado. UFRN, 2002

DEA, Iain C. M.; MORRISON, A. D. Chemistry and Interactions of Seed Galactomannans. *Advances In Carbohydrate Chemistry And Biochemistry*, v. 31, p.241- 312, jan. 1975.

Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=SfaMQMdeEnUC&pg=PA241&lpg=PA241&dq=Chemistry+and+Interactions+of+Seed+Galactomannans&source=bl&ots=mhtgypBGfj&sig=MF70UicMnLjLHxiIK-QZEG9Q9M&hl=ptBR&sa=X&ved=0CFcQ6AEwBmoVChMI6aOzm8-hxwIVzJWQCh3K7g6L#v=onepage&q=Chemistry%20and%20Interactions%20of%20Seed%20Galactomannans&f=false>. Acesso em: 2 maio 2023.

EBRAHIMI, M. et al. Characterization and application of different ceramic membranes for the oil-field produced water treatment. *Desalination*, Germany, v. 245, n. 1 -3, p.533-540, 15 set. 2009. Disponível em:

http://ac.elscdn.com.ez18.periodicos.capes.gov.br/S0011916409003683/1-s2.0-S0011916409003683-main.pdf?_tid=8508a116-6c45-11e4-a933-0000aacb360&acdnt=1416000836_e1d6cabf950e7afb055492aafb6b3bd8. Acesso em: 06 jun. 2023

EECKMAN, F.; AMIGHI, K.; MOËS, A. J. Effect of some physiological and nonphysiological compounds on the phase transition temperature of thermoresponsive polymers intended for oral controlled-drug delivery. *International Journal of Pharmaceutics*. Bélgica, p. 259-270. 17 jul. 2001. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517301007165>. Acesso em: 12 maio. 2023.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Dicionário Eletrônico Aurélio Século XXI*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira e Lexikon Informática, 1999. Versão 3.0. 1 CD-ROM.

GAO, S. et al. Gelation of konjacglucomannan crosslinked by organic borate. *Carbohydrate Polymers*, China, v. 73, p.498-505, ago. 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861707006583>. Acesso em: 12 jun. 2023.

GAUTO, Marcelo. *Petróleo e Gás: Princípios da exploração, produção e refino*. Bookman editora, 2016, cap 6.

GEBBEN, B. et al. Intramolecular crosslinking of poly(vinyl alcohol). *Polymer*, Merseburg, v. 26, p.1737-1740, out. 1985. Disponível em: <http://core.ac.uk/download/pdf/11470913.pdf>. Acesso em: 01 abril. 2023.

GEY, C. et al. Complexes of borate ions with guar d-galacto-d-mannan polymer and related model compounds. *Carbohydrate Research*, Amsterdam, v. 173, p.175-184, mar. 1988. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008621500908139>.

Acesso em: 22 mar. 2023.

GILBERT, L. et al. IMPACT OF POLYMERS ON TEXTURE PROPERTIES OF COSMETIC EMULSIONS: A METHODOLOGICAL APPROACH. *Journal Of Sensory Studies*. France, v. 27, p. 392-402. ago. 2012. Disponível em:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/joss.12001/abstract>. Acesso em: 13 maio. 2023.

GITHENS, C.J.; BURNHAM, J.W.. Chemically Modified Natural Gum for Use in Well Stimulation. *Society Of Petroleum Engineers*, .Eua, v. 9, n. 8, p.5-10, fev. 1977. Disponível em: [https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-5706-PA?sort=&start=0&q=dc_creator:\(\"Githens,+C.J.\"\)&fromSearchResults=true&rows=10#](https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-5706-PA?sort=&start=0&q=dc_creator:(\). Acesso em: 4 mar. 2023.

GOMES, E. A. Tratamento combinado de águas produzida de petróleo por eletroflotação e processo fenton. 2009. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, Aracaju-SE, 2009. Disponível em:

http://antigo.unit.br/mestrado/engenharia/arquivos/teses/emiliano_gomes.pdf. Acesso em: 21 maio 2023.

GOUVÊA, M.R. et al. Rheological behavior of borate complex and polysaccharides. *Materials Science And Engineering: C*, Brazil, v. 29, p.607-612, mar. 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493108003019>. Acesso em: 22 maio 2023.

GREM, I. C. S. et al. Microesferas De Quitosana Como Adsorvente Natural Para O Tratamento De Águas Oleosas Sintéticas. *Congresso Brasileiro de Polímeros*. Jan. 2013.

Disponível em: <http://e-democracia.com.br/cbpol/anais/2013/pdf/6FEA.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2023.

GUPTA, B. S.; AKO, J. E. Application of guar gum as a flocculant aid in food processing and potable water treatment. *European Food Research and Technology*, UK, v. 221, n. 6, p.746-751, 05 ago. 2005. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00217-005-0056-4>. Acesso em: 15 mar. 2023.

GUPTA, P., VERMANI, V., GARG, S. Hydrogels: from controlled release to pH-responsive drug delivery. *Drug Discovery Today*, India, v. 7, p. 569 – 579, 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359644602022559>. Acesso em 03 jun. 2023.

HARRIS, P. C. Chemistry and Rheology of Borate-Crosslinked Fluids at Temperatures to 300°F. *Society Of Petroleum Engineers*, Casper, v. 45, P.264-269, mar. 1993. Disponível em: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-24339-PA>. Acesso em: 9 abril. 2023.

HOLTSCLOW, J.; FUNKHOUSER, G.P. A Crosslinkable Synthetic-Polymer System for High-Temperature Hydraulic-Fracturing Applications. *Society Of Petroleum Engineers*, Texas, V. 25, p.555-563, dez. 2010. Disponível em: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-125250-PA?sort=&start=0&q=A+crosslinkable+synthetic-polymer+system+for+hightemperature+hydraulicfracturing+aplications+&from:year=&peer:reviewed=&published;between=&fromSearchResults=true&to:year=&rows=10#>. Acesso em: 2 mar. 2023.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861714003464#>. Acesso em: 12 jun. 2023.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Resíduos Oleosos, Instrução normativa N° 12 de julho de 2013. Disponível em:

<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=130330>.

Acesso em: 11 set. 2023.

Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP). Água Produzida. Caderno de Boas Práticas E&P, Diretrizes para o licenciamento ambiental de atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural em terra reate 2020. Disponível em:

<https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2021/12/reate-2020.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.

JAO, W.C. et al. The controlled release behavior and pH- and thermo-sensitivity of alginate/poly(vinyl alcohol) blended hydrogels. *Polymers For Advanced Technologies*, Taiwan, v. 20, p.680-688, ago. 2009. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pat.1318/abstract>. Acesso em: 21 mar. 2023.

KONO, H. et al. Nonionic gelation agents prepared from hydroxypropyl guar gum.

CarbohydratePolymers, Japan, v. 117, p.636-643, mar. 2015. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861714009953>. Acesso em: 1 jun. 2023.

KRUIJF, A.S. de; ROODHART, L.p.; DAVIES, D.r. Relation Between Chemistry and Flow Mechanics of Borate-Crosslinked Fracturing Fluids. *Society Of Petroleum Engineers*, v. 8, p.165-170, ago. 1993. Disponível em: <https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-25206-PA>. Acesso em: 23 abr. 2023.

LIU, D. et al. A new fracturing fluid with combination of single phase microemulsion and gelable polymer system. *Journal Of Petroleum Science And Engineering, China*, v. 73, p.267-271, set. 2010. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410510001440>. Acesso em: 7 maio 2023.

LOCKHART, T. P.. Chemical Properties of Chromium/Polyacrylamide Gels. *Spe Advanced Technology Series, Italy*, v. 2, p.199-205, abr. 1994. Disponível em:

www.onepetro.org/journal-paper/SPE-20998-PA?sort=&start=0&q=Chemical+Properties+of+Chromium/Polyacrylamide+Gels+&from:_year=&peer-reviewed=&published;+between=&fromSearchResults=true&to:_year=&rows=10#. Acesso em: 4 mar. 2023.

LUCAS, E. F. et al. Polymer science applied to petroleum production. *Pure And Applied Chemistry, Rio de Janeiro*, v. 81, n. 3, p.473-494, 2009. Disponível em:

<http://pac.iupac.org/publications/pac/pdf/2009/pdf/8103x0473.pdf> . Acesso em: 02 jun. 2023.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. A Natureza e os Polímeros: Meio Ambiente, Geopolímeros, Fitopolímeros e Zoopolímeros. Editora Edgard Blücher Ltda, 2018, ed. 1, cap 6.

MINTY, B.; RAMSEY, E. D.; DAVIES, I. Development of an automated method for determining oil in water by direct aqueous supercritical fluid extraction coupled on-line with infrared spectroscopy. *The Analyst. Uk*, p. 2356-2363. 21 nov. 2000. Disponível em:

<http://pubs.rsc.org/ez18.periodicos.capes.gov.br/en/content/articlepdf/2000/an/b006286n?page=search>. Acesso em: 12 maio. 2023.

MOTTA, A.R.P.; Tratamento de Água Produzida de Petróleo para Remoção de Óleo por Processos de Separação por Membranas: revisão. Revisão de literatura. *Eng Sanit Ambient*, v.18, n.1, jan./mar. 2013. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n1/a03v18n1>>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MOURÃO, E. H. L. Obtenção de barras de cereais de caju ameixa com alto teor de fibras processadas com ingredientes funcionais. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, 2008. Disponível em: <http://www.ppgcta.ufc.br/luisamourao.pdf>. Acesso em: 20 abril 2023.

NASCIMENTO, C. A. O.; MORO, L. F. L. Petróleo: energia do presente, matéria-prima do futuro? *Revista USP [online]*. 2011, n.89, pp. 90-97. ISSN 0103-9989.

OCHIAI, H.; KURITA, Y.; MURAKAMI, I. Viscosity behavior of the polyelectrolyte poly(vinyl alcohol) having some intrachain crosslinks. *Makromol. Chem, Japan*, v. 185, p.167-172, jan. 1984. Disponível em:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/macp.1984.021850115/abstract>. Acesso em: 22 mar. 2023.

ODIAN, G. Principles of Polymerization. 4ª ed; New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.

OLIVEIRA, G. R. C. Estudo de variáveis operacionais e interfaciais na flotação de óleo por gás dissolvido. 1995. Dissertação (Mestrado) – Curso em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, 1995.

OVIEDO, I. R. et al. Design of a Physical and Nontoxic Crosslinked Poly(Vinyl Alcohol) Hydrogel. *International Journal Of Polymeric Materials And Polymeric Biomaterials*, Mexico, v. 57, n. 12, p.1095-1103, 20 out. 2008. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00914030802341661#.VGp3NzTF91Y>. Acesso em: 12 mar. 2023.

POWER, P. P.; WOODS, W. G. The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant And Soil*, Usa, v. 193, p.1-13, jun. 1997. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1004231922434#page-1>. Acesso em: 25 mar. 2023.

QUEIROS, Y. G. C. et al. Materiais Poliméricos para Tratamento de Água Oleosa: Utilização, Saturação e Regeneração. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p.224-229, jan. 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282006000300012. Acesso em: 04 maio. 2023.

QUEIROZ, Gertrudes Oliveira de. Otimização da injeção cíclica de vapor em reservatórios de óleo pesado. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. Disponível em: http://www.anp.gov.br/capitalhumano/arquivos/prh14/gertrudesoliveira-de-queiroz_prh14_ufrn_m.pdf. Acesso em: 29 maio. 2023.

RAMÍREZ, J. A. et al. Food hydrocolloids as additives to improve the mechanical and functional properties of fish products: A review. *Food Hydrocolloids*, Mexico, v. 25, n. 8, p.1842-1852, dez. 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X11001676>. Acesso em: 07 mar. 2023

REDDY, B.R. Viscosification-on-Demand: Chemical Modification of Biopolymers to Control Their Activation by Triggers in Aqueous Solutions. In: *SPE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OILFIELD CHEMISTRY*, 2011, Texas. Anais... Texas: Spe, 2011. Disponível em: <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-141007-MS?id=conference-paper/SPE-141007-MS>. Acesso em: 25 maio 2023.

REDDY, N.; YANG, Y. Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chemistry*, United States, v. 118, p.702-711, fev. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814609007067>. Acesso em: 6 mar. 2023.

RIBEIRO, A. M. et al. Desenvolvimento de Fluidos de Fraturamento: Boletim Técnico Petrobras. Rio de Janeiro: Petrobras, 1984

- RIBEIRO, F. A., ROSÁRIO, F. F., BEZERRA, M. C., WAGNER, R. C., BASTOS, A. L., MELO, V. L., POPPI, R. J. Evaluation of chemical composition of waters associated with petroleum production using Kohonen neural networks. *Fuel*, v. 117, pp. 381-390, 2014.
- RISICA, D. et al. Rheological properties of guar and its methyl, hydroxypropyl and hydroxypropyl-methyl derivatives in semidilute and concentrated aqueous solutions. *Rheological properties of guar and its methyl, hydroxypropyl and hydroxypropyl-methyl derivatives in semidilute and concentrated aqueous solutions. Polymer, Italy*, v. 51, n. 9, p.1972-1982, 20 abr. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386110001916>. Acesso em: 17 abril. 2023.
- ROCHA, Breno da Silva. Avaliação de metodologia combinada com uso de tensoativos e polieletrólitos para tratamento de água produzida. 2018. Dissertação de Mestrado.
- ROSA, Roberto. Geologia do Petróleo Aula 01 Sistema Petrolífero por Roberto Rosa. Youtube, 13 out. 2020.
- SADEGHI, R.; JAHANI, F. Salting-In and Salting-Out of Water-Soluble Polymers in Aqueous Salt Solutions. *The Journal of Physical Chemistry B. Iran*, p. 5234-5241. 09 abr. 2012. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jp300665b>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- SANDOLO, C. et al. Effect of temperature and cross-linking density on rheology of chemical cross-linked guar gum at the gel point. *Food Hydrocolloids, Italy*, v. 23, n. 1, p.210-220, jan. 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X08000040>. Acesso em: 17 abril. 2023.
- SILVA, R. A. Influência de microgéis de hidroxipropilguar nas propriedades reológicas e de filtração de fluidos de perfuração aquosos. Tese (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 66. 2015.
- SILVA, D. C. da; WANDERLEY NETO, A. de O.; PERES, A. E. C.; DANTAS NETO, A. A.; DANTAS, T. N. C. Removal of oil from produced water by ionic flocculation using saponified babassu coconut oil. *Journal Of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 3, p. 4476-4484, Elsevier BV. 2020.
- SOPPIMATH, K. S.; KULKARNI, A. R.; AMINABHAVI, T. M. Chemically modified polyacrylamide-g-guar gum-based crosslinked anionic microgels as pH-sensitive drug delivery systems: preparation and characterization. *Journal of Controlled Release. India*, p. 331-345. 10 ago. 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168365901004047#>. Acesso em: 15 maio. 2023.
- SOUZA, K. V. et al. Utilização de biopolímero no tratamento de efluentes da indústria de papel e celulose por Processo Oxidativo Avançado. *Sci. For., Piracicaba*, v. 45, n. 114, p. 363-

372, jun. 2017. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr114/cap12.pdf>.

Acesso em: 16 maio. 2023.

STRINGFELLOW, W. T. et al. Physical, chemical, and biological characteristics of compounds used in hydraulic fracturing. *Journal Of Hazardous Materials*, v. 275, Usa, p.37-54, jun. 2014. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389414003021>. Acesso em: 20 jun. 2023.

TAYAL, A.; PAI, V. B.; KHAN, S. A.. Rheology and Microstructural Changes during Enzymatic Degradation of a Guar - Borax Hydrogel. *Macromolecules*, USA, v. 32, p.5567-5574,1999. Disponível em:

http://www.periodicos.capes.gov.br/ez18.periodicos.capes.gov.br/index.php?option=com_pmeta_busca&mn=88&smn=88&type=m&metalib=aHR0cDovL21scGx1cy5ob3N0ZWQuZXhsaWJyaXNncm91cC5jb20vcHJpbW9fbGlicmFyeS9saWJ3ZWlvYWw0aW9uL3NIYXJjaC5kbz9kc2NudD0wJmZyYmc9JnNjcC5zY3BzPXByaW1vX2NlbnRyYWx1bW91bnR1bT10cnVlmluZHg9MSZmbj1zZWYyY2gmdmlkPUN_BUEVT. Acesso em: 05 jun. 2023.

ZHANG, L. et al. Charge regulation enables anionic hydroxypropyl guar-borate adsorption onto anionic and cationic polystyrene latex. *Journal Of Colloid And Interface Science*.

Canada, v. 353, p. 557-551. jan. 2011. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979710011562> . Acesso em: 12 jun. 2023.

APÊNDICE A

Tabela 1 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com a goma guar após 3 h.

Amostras	Goma Guar (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 3 h	Concentração (mg/L) 3 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	2,331	596,462	-
1	4	2,5	0,240	60,222	89,90 %
2	4	2,75	0,103	25,179	95,78 %
3	4	3	0,088	21,248	96,44 %
4	4,5	2,5	0,244	61,419	89,70 %
5	4,5	2,75	0,175	43,726	92,67 %
6	4,5	3	0,163	40,564	93,20 %
7	5	2,5	0,272	68,513	88,51 %
8	5	2,75	0,207	51,761	91,32 %
9	5	3	0,176	43,872	92,64 %

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 2 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com a goma guar após 6 h.

Amostras	Goma Guar (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 6 h	Concentração (mg/L) 6 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	2,331	596,462	-
1	4	2,5	0,095	23,214	96,11 %
2	4	2,75	0,086	20,906	96,49 %
3	4	3	0,074	17,658	97,04 %
4	4,5	2,5	0,150	37,231	93,76 %
5	4,5	2,75	0,134	33,128	94,45 %
6	4,5	3	0,114	28,000	95,31 %
7	5	2,5	0,185	46,205	92,25 %
8	5	2,75	0,178	44,410	92,55 %
9	5	3	0,171	42,530	92,87 %

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com a goma guar após 9 h.

Amostras	Goma Guar (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 9 h	Concentração (mg/L) 9 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	2,331	596,462	-
1	4	2,5	0,081	19,624	96,71 %
2	4	2,75	0,076	18,256	96,94 %
3	4	3	0,067	16,034	97,31 %
4	4,5	2,5	0,137	33,983	94,30 %
5	4,5	2,75	0,128	31,504	94,72 %
6	4,5	3	0,093	22,503	96,22 %
7	5	2,5	0,153	38,000	93,63 %
8	5	2,75	0,156	38,767	93,50 %
9	5	3	0,155	38,427	93,56 %

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 4 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com a goma guar após 24 h.

Amostras	Goma Guar (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 24 h	Concentração (mg/L) 24 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	2,331	596,462	-
1	4	2,5	0,071	11,695	98,04 %
2	4	2,75	0,066	10,076	98,31 %
3	4	3	0,061	8,648	98,55 %
4	4,5	2,5	0,111	23,124	96,12 %
5	4,5	2,75	0,107	21,790	96,35 %
6	4,5	3	0,079	13,981	97,66 %
7	5	2,5	0,132	29,029	95,13 %
8	5	2,75	0,128	27,981	95,31 %
9	5	3	0,127	27,695	95,36 %

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 5 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com o HPG após 3 h.

Amostras	HPG (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 3 h	Concentração (mg/L) 3 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	1,649	421,675	-
1	4	2,5	0,532	135,179	67,94 %
2	4	2,75	0,467	118,427	71,92 %
3	4	3	0,406	102,786	75,62 %
4	4,5	2,5	0,386	97,744	76,82 %
5	4,5	2,75	0,264	66,462	84,24 %
6	4,5	3	0,249	62,615	85,26 %
7	5	2,5	-	-	-
8	5	2,75	-	-	-
9	5	3	-	-	-

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 6 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com o HPG após 6 h.

Amostras	HPG (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 6 h	Concentração (mg/L) 6 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	1,649	421,675	-
1	4	2,5	0,392	99,197	76,48 %
2	4	2,75	0,376	95,094	77,45 %
3	4	3	0,249	62,530	85,17 %
4	4,5	2,5	0,201	50,393	88,05 %
5	4,5	2,75	0,189	47,145	88,82 %
6	4,5	3	0,169	42,103	90,02 %
7	5	2,5	0,059	13,983	96,68 %
8	5	2,75	0,056	13,043	96,91 %
9	5	3	0,049	11,333	97,31 %

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 7 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com o HPG após 9 h.

Amostras	HPG (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 9 h	Concentração (mg/L) 9 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	1,649	421,675	-
1	4	2,5	0,294	74,154	82,41 %
2	4	2,75	0,249	62,530	85,17 %
3	4	3	0,186	46,547	88,96 %
4	4,5	2,5	0,142	35,179	91,66 %
5	4,5	2,75	0,099	24,239	94,25 %
6	4,5	3	0,095	23,214	94,49 %
7	5	2,5	0,047	10,821	97,43 %
8	5	2,75	0,046	10,479	97,51 %
9	5	3	0,043	9,880	97,66 %

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 8 - Resultados do tratamento da água produzida sintética com o hidroxipropilgumar após 24 h.

Amostras	HPG (g/L)	Ácido Bórico (g/L)	ABS 24 h	Concentração (mg/L) 24 h	Remoção
Água produzida sintética	-	-	1,649	421,675	-
1	4	2,5	0,210	52,615	87,52 %
2	4	2,75	0,167	41,675	90,12 %
3	4	3	0,139	34,496	91,82 %
4	4,5	2,5	0,105	25,778	93,89 %
5	4,5	2,75	0,088	21,248	94,96 %
6	4,5	3	0,080	19,197	95,45 %
7	5	2,5	0,035	7,744	98,16 %
8	5	2,75	0,035	7,744	98,16 %
9	5	3	0,031	6,632	98,43 %

Fonte: Autoria Própria.

APÊNDICE B

Tabela 1 – Resultados para análise de pH para o tempo de 3h com a goma guar.

Amostras (Goma Guar)	pH	ABS 3h	Concentração (mg/L)	% Remoção
Água produzida sintética	-	1,013	258,513	-
1	9,000	0,408	103,385	60,008
2	10,000	0,227	56,889	77,994
3	11,000	0,078	18,769	92,740
4	12,000	0,063	14,838	94,260
5	13,000	0,140	34,667	86,590

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Resultados para análise de pH para o tempo de 6h com a goma guar.

Amostras (Goma Guar)	pH	ABS 6h	Concentração (mg/L)	% Remoção
Água produzida sintética	-	1,013	258,513	-
1	9,000	0,347	87,744	66,058
2	10,000	0,205	51,419	80,110
3	11,000	0,064	15,051	94,178
4	12,000	0,043	9,667	96,261
5	13,000	0,138	34,026	86,838

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Resultados para análise de pH para o tempo de 9h com a goma guar.

Amostras (Goma Guar)	pH	ABS 9h	Concentração (mg/L)	% Remoção
Água produzida sintética	-	1,013	258,513	-
1	9,000	0,339	85,692	66,852
2	10,000	0,188	47,06	81,796
3	11,000	0,049	11,333	95,616
4	12,000	0,038	8,385	96,756
5	13,000	0,133	32,744	87,334

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 – Resultados para análise de pH para o tempo de 3h com o HPG.

Amostras (HPG)	pH	ABS 3h	Concentração (mg/L)	% Remoção
Água produzida sintética	-	1,141	291,333	-
1	9,000	0,568	144,325	44,171
2	10,000	0,395	100,051	61,297
3	11,000	0,215	53,769	79,201
4	12,000	-	-	0,000
5	13,000	-	-	0,000

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – Resultados para análise de pH para o tempo de 6h com o HPG.

Amostras (HPG)	pH	ABS 6h	Concentração (mg/L)	% Remoção
Água produzida sintética	-	1,141	291,333	-
1	9,000	0,408	106,846	58,669
2	10,000	0,227	73,128	71,712
3	11,000	0,078	52,487	79,697
4	12,000	0,063	13,128	94,922
5	13,000	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Resultados para análise de pH para o tempo de 9h com o HPG.

Amostras (HPG)	pH	ABS 9h	Concentração (mg/L)	% Remoção
Água produzida sintética	-	1,141	291,333	-
1	9,000	0,408	84,068	67,480
2	10,000	0,227	70,821	72,604
3	11,000	0,078	44,325	82,854
4	12,000	0,063	8,256	96,806
5	13,000	0,140	16,633	93,566

Fonte: Autoria própria.