



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOQUÍMICA
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ALANA RAYANNE ARAUJO FREITAS

Potencial emulsificante do arabinogalactano de *Anacardium occidentale* em emulsões do tipo óleo em água (O/A)

Recife

2023

ALANA RAYANNE ARAUJO FREITAS

Potencial emulsificante do arabinogalactano de *Anacardium occidentale* em emulsões do tipo óleo em água (O/A)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador (a): Prof. Dr. Paulo Antônio Galindo Soares

Coorientador (a): Me. Elisandra Cibely Cabral Melo

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Freitas, Alana Rayanne Araujo.

Potencial emulsificante do arabinogalactano de *Anacardium occidentale* em emulsões do tipo óleo em água (O/A) / Alana Rayanne Araujo Freitas. - Recife, 2023.

80 : il., tab.

Orientador(a): Paulo Antônio Galindo Soares

Coorientador(a): Elisandra Cibely Cabral Melo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2023.

1. Biologia. 2. Bioquímica. 3. Emulsões. 4. Polissacarídeos. I. Soares, Paulo Antônio Galindo. (Orientação). II. Melo, Elisandra Cibely Cabral. (Coorientação). IV. Título.

570 CDD (22.ed.)

ALANA RAYANNE ARAUJO FREITAS

Potencial emulsificante do arabinogalactano de *Anacardium occidentale* em emulsões do tipo óleo em água (O/A)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de grau de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovado em: 01/09/2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Antônio Galindo Soares (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Me. Maria Isabela Ferreira de Araújo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Me. Francisca Crislândia Oliveira Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades que me trouxeram até aqui.

A minha família que tornou esse sonho possível. Minha mãe e meu pai por me cuidarem e me guiarem nessa jornada da vida e à minha irmã Eduarda por ser minha principal companheira ao longo dela.

À minha amiga Amanda Sahori por provar todos os dias que a distância não diminui o amor, por ter caminhado ao meu lado por todo esse tempo mesmo que nossas estradas estejam tão distantes.

A Vitor a quem conheci por acaso em um dia comum, mas que tornou todos os dias seguintes extraordinários. Por ter me encontrado e ter permanecido ao meu lado, por me apoiar e me motivar todos os dias a ser alguém melhor.

Aos meus amigos de Guarulhos, Dani, Thay, Bruno e Gaby, que me ensinaram sobre amizade, e também ao meu amigo Matheus, quem me acompanhou na maior parte desse trajeto.

Aos meus amigos da graduação, Agata, Bruna, Vitória, Duda, Márcio e Priscyla, eu pude aprender com vocês em tão pouco tempo muito mais que uma vida inteira. Pela leveza e companheirismo durante a graduação, sem vocês nada disso seria possível. A Maju, Irene e outros amigos, colegas e conhecidos do CB por compartilharem essa jornada.

A Agata, Mia, Diego e Rita. Por salvarem um pouco mais minha vida dia após dia. Sou incapaz de descrever tamanho carinho e paz que me trouxeram.

Ao orientador, professor Paulo e a minha co-orientadora Elisandra, que tornaram todo esse trabalho possível, por todo esforço, paciência, gentileza, compreensão e dedicação durante todo esse tempo. Vocês tornaram-se grandes inspirações e com vocês aprendi muito mais que as metodologias ou teorias aqui descritas.

Aos demais integrantes do laboratório de biotecnologia, Júnior, Josenildo, Isa, Cris, Thayná, Jaque, Ruthe, Vitor e todos os IC's, por me acolherem e tornaram o ambiente do laboratório tão agradável na presença de vocês.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro.

“Animais que respiram são corpos combustíveis que queimam e consomem a si próprios”

Nelson, 2014

RESUMO

Emulsões do tipo óleo em água são sistemas amplamente utilizados em variados ramos industriais, que em razão de sua instabilidade termodinâmica necessita de bons agentes estabilizantes. Polissacarídeos podem apresentar atividade emulsificante devido a presença de grupos funcionais em sua estrutura, ou pela presença de ramificações, como é o caso do arabinogalactano extraído do exsudato de *Anacardium occidentale*, abundante do nordeste brasileiro e portanto representa potencial econômico ao país. O objetivo do trabalho foi avaliar a atividade emulsificante do arabinogalactano do exsudato de *Anacardium occidentale*. Nesse sentido, o arabinogalactano (A) foi avaliado quanto a sua capacidade emulsificante em emulsões óleo em água, comparado à goma guar industrial (GG). Foram avaliadas duas metodologias no preparo das emulsões, a homogeneização mecânica (h) e emulsificação espontânea (e), variando em ambas a concentração do polissacarídeo (0,2% (p/p) e 0,4% (p/p)). O Tween 80 (11,25%v/v) e o glicerol (3,75%) foram utilizados como coadjuvantes nas formulações de emulsificação espontânea e o óleo de soja (0,5% v/v) foi utilizado como fase dispersa. A estabilidade foi avaliada durante 70 dias pela análise de seu potencial zeta (ζ), tamanho de gotícula, índice de polidispersividade (PDI) e perfil de fases. A metodologia de emulsificação espontânea na concentração polissacarídica de 0,4% apresentou os melhores resultados formando nanoemulsão sem cremear. Ah 0,2 apresentou os melhores resultados de PDI ($0,3 \pm 0,0$) e potencial ζ ($-8,9 \pm 0,1$ mV). O aumento na concentração polissacarídica produziu emulsões mais estáveis, e o aumento do pH influenciou positivamente na estabilidade das soluções polissacarídicas. O arabinogalactano extraído do exsudato de *Anacardium occidentale* apresentou atividade emulsificante superior a goma guar, que é amplamente utilizada comercialmente e, portanto, pode ser considerado para aplicação em formulações industriais, fomentando o comércio local, agregando valor à sua cultura e permitindo melhor aproveitamento dos cajueiros.

Palavras-chave: Nanoemulsões, Polissacarídeos, Cajueiro, Polímeros, Estabilizante

ABSTRACT

Oil-in-water emulsions are systems widely used in various industrial sectors, which, due to their thermodynamic instability, require good stabilizing agents. Polysaccharides may present emulsifying activity due to the presence of functional groups in their structure, or the presence of branches, as is the case of arabinogalactan extracted from the exudate of *Anacardium occidentale*, abundant in northeastern Brazil and, therefore, represents economic potential for the country. The objective of the work was to evaluate the emulsifying activity of arabinogalactan from *Anacardium occidentale* exudate. In this sense, arabinogalactan (A) was evaluated for its emulsifying capacity in oil-in-water emulsions, compared to industrial guar gum (GG). Two methodologies were evaluated in the preparation of emulsions, mechanical homogenization (h) and spontaneous emulsification (e), varying the polysaccharide concentration in both (0.2% (w/w) and 0.4% (w/w)). Tween 80 (11.25% v/v) and glycerol (3.75%) were used as adjuvants in spontaneous emulsification formulations and soybean oil (0.5% v/v) was used as a dispersed phase. Stability was evaluated for 70 days by analyzing its zeta potential (ζ), droplet size, polydispersity index (PDI) and phase profile. The spontaneous emulsification methodology at a polysaccharide concentration of 0.4% showed the best results, forming nanoemulsions without creaming. Ah 0.2 showed the best PDI results (0.3 ± 0.0) and ζ potential (-8.9 ± 0.1 mV). The increase in polysaccharide concentration produced more stable emulsions, and the increase in pH positively influenced the stability of polysaccharide solutions. Arabinogalactan extracted from the exudate of *Anacardium occidentale* showed superior emulsifying activity to guar gum, which is widely used commercially and, therefore, can be considered for application in industrial formulations, promoting local commerce, adding value to its culture and allowing better use of cashew trees.

Keywords: Nanoemulsions, Polysaccharides, Cashew, Polymers, Stabilizer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Tipos de emulsões de acordo com a hidrofili­cidade ou lipofili­cidade da fase dispersa.....	17
Figura 2 –	Diferença entre emulsão monodispersa e polidispersa.....	19
Figura 3 –	Distribuição das regiões de uma emulsão.....	21
Figura 4 –	Representação dos principais mecanismos de estabilização de polissacarídeos naturais	21
Figura 5 –	Representação de homogeneizador de alta velocidade.....	23
Figura 6 –	Representação dos principais processos de desestabilização de emulsões.....	25
Figura 7 –	Goma exsudada de <i>Anacardium occidentale</i>	30
Figura 8 –	Unidades monossacarídicas do Arabinogalactano.....	36
Figura 9 –	Representação hipotética da goma do cajueiro, em que R representa as ramificações.....	37
Figura 10 –	a) Exsudato de <i>Anacardium occidentale</i> ; b) Arabinogalactano extraído do exsudato da <i>Anacardium occidentale</i>	45
Figura 11 –	Curvas de dosagens da galactose (padrão), arabinogalactano extraído de exsudato <i>Anacardium occidentale</i> e goma guar.....	46
Figura 12 –	Emulsões estabilizadas pelo arabinogalactano e goma guar pelas técnicas de homogeneização espontânea (e) e homogeneizador mecânico (h) nos dias 0 (a-i) e 70 (k-s).....	49
Figura 13 –	Tamanho de gotícula de emulsões o/a preparadas com o arabinogalactano (A) e goma guar (GG) como fase aquosa em concentrações de 0,2 e 0,4 %(p/v) por homogeneização mecânica (a) e emulsificação espontânea (b).....	50
Figura 14 –	Gotículas de óleo formadas pela separação de fases de GGh 0,2.espontânea (e).....	52
Figura 15 –	Tamanho de gotícula de emulsões o/a preparadas com o arabinogalactano (A) e goma guar (GG) como fase aquosa	53

	em concentrações de 0,2 e 0,4 %(p/v) por homogeneização mecânica (a) e emulsificação espontânea (b).	
Figura 16 –	Índice de polidispersividade (PDI) de emulsões o/a preparadas com o arabinogalactano (A) e goma guar (GG) como fase aquosa em concentrações de 0,2 e 0,4 %(p/v) por homogeneização mecânica (a) e emulsificação espontânea (b).....	54
Figura 17–	Tamanho de gotícula das emulsões preparadas com o arabinogalactano e a goma guar a 0,4 %(p/v) por emulsificação espontânea em função do tempo de armazenamento (dias). Escala: 0-100 nm.....	57
Figura 18 –	Potencial ζ das emulsões obtidas por homogeneização mecânica (a) e emulsificação espontânea (b) em função do tempo de armazenamento (dias). Escala: 0,0 a 10,0 mV	58
Figura 19 –	Relação entre potencial ζ do arabinogalactano (a) e goma guar (b), em função do pH das soluções a 0,4 %(p/v). (a) $y = -0,1787x^2 + 1,1574x - 3,7677$; $R^2 = 0,97$. (b) $y = 0,019x^2 - 0,6139x + 1,4287$; $R^2 = 0,99$	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição dos parâmetros das emulsões produzidas.....	42
Tabela 2 – Absorbância, função linear e coeficiente de determinação (R ²) da albumina sérica bovina (BSA).....	47
Tabela 3 – pH das emulsões.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/O	Emulsões de água em óleo.
A/O/A	Emulsões de água em óleo em água.
Ae 0,2	Emulsão Arabinogalactano 0,2% (p/p) por emulsificação espontânea
Ae 0,4	Emulsão Arabinogalactano 0,4% (p/p) por emulsificação espontânea
Ah 0,2	Emulsão Arabinogalactano 0,2% (p/p) por homogeneização mecânica
ANOVA	Análise de variância
BSA	Albumina sérica bovina
Ct	Controle
DLS	Espalhamento dinâmico de luz
GGe 0,4	Emulsão Goma Guar 0,4% (p/p) por emulsificação espontânea
GGh 0,2	Emulsão Goma Guar 0,2% (p/p) por emulsificação espontânea
GGh 0,2	Emulsão Goma Guar 0,2% (p/p) por homogeneização mecânica
IC	Índice de cremeação
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
O/A	Emulsões de óleo em água
O/A/O	Emulsões de óleo em água em óleo
PDI	Índice de Polidispersividade
pI	Ponto isoelétrico
R ²	Coeficiente de determinação
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
SISGEN	Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	16
	2.1 Objetivo geral.....	16
	2.2 Objetivos específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
	3.1 Emulsões.....	17
	3.1.1. Tipos de emulsão.....	17
	3.1.2. Caracterização de uma emulsão.....	18
	3.2 Métodos de emulsificação.....	20
	3.2.1. Emulsificação por homogeneização mecânica de alta velocidade	22
	3.2.2. Emulsificação espontânea.....	23
	3.3. Estabilização de emulsões.....	24
	3.3.1. Estabilidade.....	24
	3.3.2. Mecanismos de desestabilização.....	24
	3.4.Emulsificantes.....	26
	3.5. Polissacarídeos como emulsificantes.....	28
	3.5.1. Gomas.....	29
	3.5.2. Goma guar.....	29
	3.5.3. Goma do cajueiro.....	30
	3.6. Arabinogalactano extraído da goma de <i>A. occidentale</i>.....	31
	3.6.1. <i>Anacardium occidentale</i>	31
	3.6.2 Produção da goma do cajueiro.....	34
	3.6.3. Arabinogalactano.....	35
	3.6.4. Aplicações.....	37
	3.6.5. Importância econômica.....	38
4	METODOLOGIA.....	39
	4.1 Materiais.....	39
	4.2 Extração e caracterização do arabinogalactano da <i>Anacardium</i>	

	<i>occidentale</i>	40
	4.3 Preparo das emulsões do tipo óleo em água (O/A).....	41
	4.4 Tamanho de gotícula, PDI e potencial ζ	43
	4.5 Índice de cremeação.....	43
	4.6 Análise estatística.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
	5.1. Extração e purificação do arabinogalactano de <i>Anacardium</i> <i>occidentale</i>	44
	5.2. Potencial emulsificante do arabinogalactano de <i>Anacardium</i> <i>occidentale</i>	48
	5.2.1. Índice de cremeação.....	49
	5.2.2. Tamanho de gotícula e Índice de polidispersividade (PDI).....	52
	5.2.3. Potencial ζ	58
	5.2.2.1. Potencial ζ e pH.....	60
6	CONCLUSÕES	62
7	REFERENCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

Emulsões são dispersões coloidais formados por dois ou mais líquidos imiscíveis, em que um líquido forma gotículas dispersas no outro (Kedzior *et al.*, 2021). Estes sistemas são utilizados em variados ramos industriais, como a indústria alimentícia, na formulação de alimentos como laticínios, bebidas, queijos e iogurtes (Fang *et al.*, 2022); a indústria farmacêutica, como carreadores de drogas (Yang *et al.*, 2020) e também no ramo de cosméticos, como na formulação de protetores solares (Silva *et al.*, 2020).

Devido sua instabilidade, as emulsões são mantidas por agentes emulsificantes que atuam no sentido de estabilizar as gotículas da fase dispersa por mais tempo (Zembyla *et al.*, 2020). O mercado de emulsificantes alimentícios já movimentou cerca de 3,6 bilhões de dólares mundialmente, com tendência de crescimento nesse setor em ritmo significativo nos próximos anos. (Markets e Markets, 2023).

Entre os emulsificantes mais utilizados, estão as gomas extraídas de plantas, como a goma guar e a goma arábica (Fang *et al.*, 2022). A atividade emulsificante dessas gomas se deve à presença de grupos funcionais em sua estrutura, ou pela presença de ramificações (Kale e Deore, 2016; Jindal *et al.*, 2013). O arabinogalactano é um polissacarídeo altamente ramificado, formado por uma cadeia principal de β -D-galactose (De Paula *et al.*, 1998; Maciel *et al.*, 2005), sendo o principal componente extraído da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*), nativa do Brasil e abundante na região Nordeste (Rico *et al.*, 2015).

O arabinogalactano da *A. occidentale* apresenta caráter atóxico, alta hidrofiliabilidade e biocompatibilidade e é bastante explorado pelas suas aplicações biotecnológicas, por apresentar propriedades antitumorais, antiparasitária, cicatrizante (Soares *et al.*, 2014), antifúngica e bactericida (Torquato *et al.*, 2004). No setor alimentício, esse polissacarídeo foi aplicado na obtenção de revestimentos comestíveis para extensão do tempo de prateleira de mangas Tommy Atkins (Souza *et al.*, 2010).

A pesquisa por novas fontes naturais de polissacarídeos emulsificantes oriundos da flora brasileira, como o arabinogalactano extraído do exsudato do *A.*

occidentale pode permitir redução de gastos com importações, ampliar o comércio de agricultores locais, agregar valor à sua cultura, gerar uma nova fonte de lucros e permitir o melhor aproveitamento dos cajueiros. No entanto, ainda são necessários estudos sobre a aplicabilidade tecnológica desse material, incluindo a composição de uma formulação da emulsão estável e seu método de preparo, a fim de viabilizar sua aplicação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a atividade emulsificante do arabinogalactano extraído do exsudato de *Anacardium occidentale*.

2.2 Objetivos específicos

- Extrair o arabinogalactano do exsudato da *Anacardium occidentale*;
- Determinar o teor de carboidratos totais e o teor de proteínas do arabinogalactano;
- Preparar emulsões do tipo óleo em água contendo o arabinogalactano nas concentrações 0,2 %(p/p) e 0,4 %(p/p);
- Avaliar a estabilidade a longo prazo das emulsões por meio da análise de seu potencial zeta (ζ), tamanho de gotícula e índice de polidispersividade;
- Avaliar a estabilidade a longo prazo das emulsões por meio da análise de seu perfil de fases.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

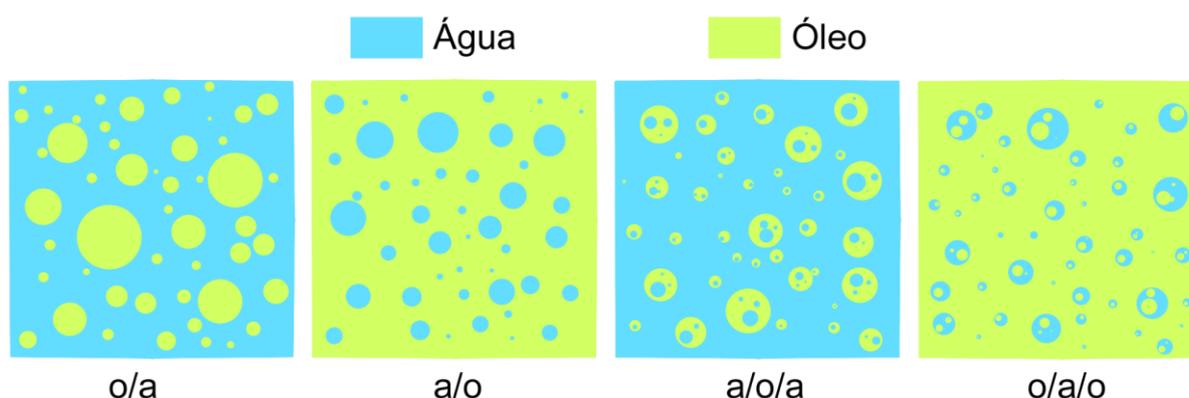
3.1. Emulsões

Emulsões são sistemas coloidais termodinamicamente instáveis formados por dois ou mais fluidos imiscíveis na forma de fases contínua e dispersa, apresentando aparência homogênea (Kedzior *et al.*, 2021; Kale e Deore, 2016). A fase dispersa, descontínua ou interna de uma emulsão é formada pelas gotículas, enquanto o líquido circulante denomina-se fase contínua ou externa (McClements, 2015).

3.1.1. Tipos de emulsão

As emulsões podem ser classificadas em simples, como emulsões de óleo em água (o/a), nas quais o óleo representa a fase dispersa e a água a fase contínua; e emulsões de água em óleo (a/o), nas quais a água é a fase dispersa enquanto o óleo é a fase contínua conforme apresentado na Figura 1 (Kedzior *et al.*, 2021). Existem ainda as emulsões complexas ou múltiplas, chamadas de emulsões de água em óleo em água (a/o/a), emulsões de óleo em água em óleo (o/a/o), além de outros sistemas emulsionados como as emulsões de Pickering, emulsões multicamadas e géis de emulsão (Melo, 2022; Fang *et al.* 2022).

Figura 1 - Tipos de emulsões de acordo com a hidrofiliicidade ou lipofiliicidade da fase dispersa.



Fonte: Próprio autor (2023)

Quanto ao seu tamanho, as emulsões são classificadas em convencionais, microemulsões e nanoemulsões. As emulsões convencionais são dispersões que

apresentam tamanhos de gotícula na faixa de 1 a 20 mm. São termodinamicamente e cineticamente instáveis, apresentam alta viscosidade e são visualmente turvas. Microemulsão consiste em uma dispersão termodinamicamente estável formada espontaneamente, cuja composição envolve óleo, água, surfactante e co-surfactante, atingindo gotículas com tamanho entre 1 a 100 nm. Apresentam baixa viscosidade e aparência límpida (Kale e Deore, 2016).

Nanoemulsões são formadas por dois líquidos imiscíveis através de forças mecânicas que atingem tamanho de gotículas na faixa nanométrica, com diâmetro médio de 20 a 100 nm. São cineticamente estáveis, porém termodinamicamente instáveis, sua viscosidade é baixa e a aparência é límpida (Fang *et al.* 2022).

Emulsões de Pickering são um sistema coloidal formado por dois ou mais líquidos imiscíveis, cujos agentes estabilizadores são partículas sólidas que reduzem a tensão superficial na interface. São mais estáveis que as emulsões convencionais devido à adsorção irreversível do estabilizante na interface gerando uma barreira protetora envolvendo as gotículas (Cardial *et al.*, 2019). A partícula emulsificante deve apresentar molhabilidade parcial em água e óleo, para a ancoragem na interface (Kedzior *et al.*, 2021; Chevalier e Bolzinger, 2013). Elas apresentam baixa toxicidade, permitem a redução do uso de surfactantes e podem ser produzidas a partir de diferentes polímeros naturais (Cardial *et al.*, 2019).

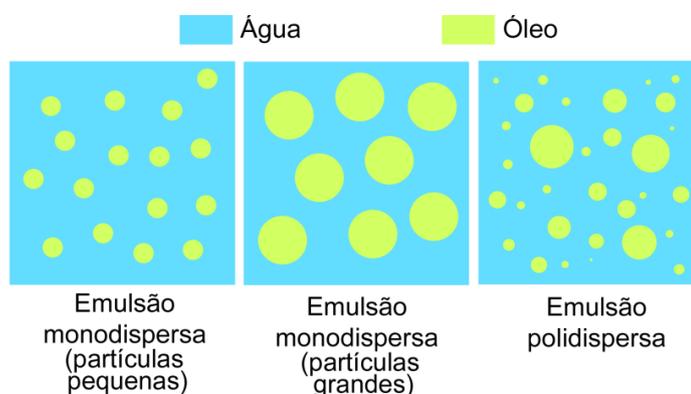
3.1.2. Caracterização de uma emulsão

Os aspectos visuais de uma emulsão incluem sua aparência, transparência, clareza ótica, homogeneidade e fluidez (Allen, 2005). Um parâmetro importante é a cremação, evento no qual as gotículas de óleo movem-se ascendentemente devido à menor densidade em relação ao meio aquoso, separando visualmente o sistema em uma camada superior de creme rica em gotículas da fase dispersa, com aspecto opaco e coloração frequentemente esbranquiçada, e uma camada inferior com menor concentração de gotículas. Este evento é comum, ocorre devido ao armazenamento prolongado da emulsão e precede a separação total das fases do sistema. O tempo necessário para a formação das fases e a altura da camada de creme determinam a estabilidade da emulsão (Tan *et al.*, 2020).

O tamanho de gotícula é um parâmetro que permite diferenciar a emulsão em convencional, microemulsão e nanoemulsão e fornece informações sobre seu comportamento. Pode ser determinado pelo método de dispersão de luz ou por microscopia eletrônica (Aulton, 2007; Melo, 2022). Alguns fatores que influenciam o tamanho da gotícula são a razão emulsificante/óleo/água, a força iônica, o tipo de emulsificante, viscosidades das fases, tensão interfacial da água, e a intensidade e duração da entrada de energia (Fang *et al.* 2022).

Polidispersão descreve a quantidade de material presente em determinada faixa de tamanho, pode ser apresentado como Índice de polidispersividade (PDI), que retrata o grau de homogeneidade de tamanho das partículas presentes em um sistema, cujos valores variam de 0 para sistemas totalmente homogêneos a 1 para sistemas totalmente heterogêneos (Kale e Deore, 2016; Cardial *et al.*, 2019). Emulsões cujas gotículas apresentam dimensões semelhantes são chamadas de monodispersas, quando há variabilidade quanto ao tamanho de gotas de uma emulsão, ela é caracterizada como polidispersa, conforme demonstrado na Figura 2 (McClements, 2015). Emulsões estáveis apresentam baixos valores de polidispersão, pois gotículas de tamanhos aproximados evitam o amadurecimento de Ostwald (crescimento de gotículas maiores pela fusão das menores). Para a produção de nanopartículas com polímeros, o PDI ideal deve ser inferior a 0,2 (Khedr e Striolo, 2019).

Figura 2 - Diferença entre emulsão monodispersa e polidispersa.



Fonte: Próprio autor (2023).

Potencial Zeta (ζ) é uma descrição do comportamento elétrico da superfície de uma partícula em uma solução aquosa e é uma forma de caracterizar as propriedades elétricas das gotículas de uma emulsão junto à densidade de carga

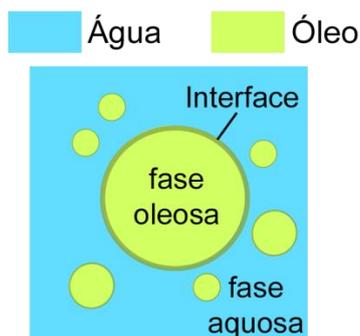
superficial (σ). Essas propriedades dependem das condições da solução, das moléculas adsorvidas, tipos de moléculas ionizáveis e do pH da fase aquosa. O potencial ζ é gerado pela distância entre a partícula carregada e o “limite” no qual os íons próximos movimentam-se junto com ela, ou seja, o potencial de carga de superfície efetivo dessa partícula (Soares, 2015; Hunter, 1981; McClements, 2015).

O potencial ζ fornece informações sobre a natureza e a dissociação de grupos funcionais, polaridade de uma superfície sólida e da natureza iônica da amostra. A carga das gotículas determina a natureza das interações com outras partículas carregadas e são originadas pela adsorção das moléculas emulsificantes que podem ser neutras ou apresentar carga elétrica negativa ou positiva (McClements, 2015). As gotas da emulsão frequentemente possuem a mesma carga por estarem envoltas pelo mesmo emulsificante, gerando uma repulsão eletrostática que protege as gotículas da agregação e afeta suas interações com outras moléculas carregadas. Outras interações coloidais podem atuar em um sistema emulsionado, como as interações de van der Waals, interações estéricas e hidrofóbicas, depleção e atração induzida por sal. A intensidade, alcance e caráter atrativo ou negativo de todas as forças atuantes em uma emulsão afetam características como estabilidade, reologia e aparência, além de propriedades físico-químicas, organolépticas e nutricionais (Fang *et al.* 2022; McClements, 2015).

3.2. Métodos de emulsificação

Em uma emulsão, existem pelo menos três regiões distintas, o interior das gotículas, a fase contínua e a interface, como exemplificado na Figura 3, cada uma apresenta diferentes propriedades físico-químicas. As moléculas distribuem-se entre essas regiões de acordo com sua concentração e polaridade. A fase aquosa concentra moléculas polares, a interface é constituída pela fina camada que envolve cada gota da emulsão, nessa região concentram-se os componentes tensoativos e a fase oleosa é responsável pela melhor solubilização de moléculas lipofílicas e também por aprimorar a adsorção na interface água/óleo (McClements, 2015; Kale e Deore, 2016).

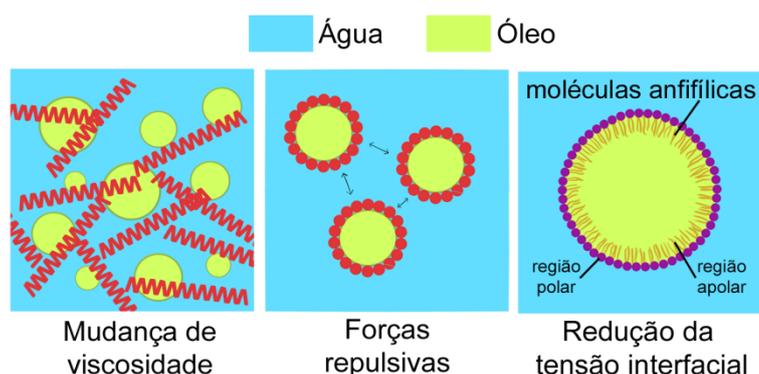
Figura 3 - Distribuição das regiões de uma emulsão.



Fonte: Próprio autor (2023), adaptado de Chevalier; Bolzinger (2013).

Existem algumas teorias que explicam como ocorre a formação das emulsões. A teoria da tensão superficial sugere que a emulsão pode ser formada pela redução da tensão interfacial entre suas fases constituintes; a teoria da repulsão sugere a formação de um filme protetor que envolve as gotículas repelindo as demais e evitando a aproximação entre elas; e a teoria da modificação da viscosidade defende que os agentes emulsificantes aumentam a viscosidade da emulsão e formam uma malha tridimensional que impede o movimento e aproximação das gotículas (Kale e Deore, 2016).

Figura 4- Representação dos principais mecanismos de estabilização de polissacarídeos naturais.



Fonte: Próprio autor (2023), adaptado de Lu *et al.* (2019).

Emulsões podem ser obtidas por cominuição, pela aplicação de forças externas que rompem a fase dispersa em gotículas menores ou pela condensação por transição de fase termodinâmica (Angardi *et al.*, 2022). O processo pelo qual dois líquidos imiscíveis são unidos em uma emulsão é denominado homogeneização. Para que ocorra o rompimento das gotas na formação de uma

emulsão, as forças disruptivas (externas) devem ser maiores que as forças interfaciais e durar tempo o suficiente (McClements, 2015; Angardi *et al.*, 2022).

A homogeneização atua aumentando a força externa pelo cisalhamento de alta energia para dispersar as gotículas na fase contínua rompendo-as em tamanhos menores por velocidade ou pressão (Walstra, 1983; Walstra e Smulders, 1998; McClements, 2015; Kedzior *et al.*, 2021). Esses métodos incluem a ultrasonicação, homogeneização de alta pressão, de membrana, microcanal e alta velocidade, microfluidização e moinhos coloidais (Fang *et al.* 2022). A condensação compreende os métodos de baixa energia, como inversão de fase por temperatura, emulsificação espontânea e deslocamento de solvente (Kedzior *et al.*, 2021; Kale e Deore, 2016).

A formação da emulsão causa aumento da área interfacial e da energia livre (Cardial, 2019). É um processo dinâmico devido à intensa ruptura das gotículas e movimento acelerado que permanece após o preparo (McClements, 2015). Outros componentes da emulsão, como biopolímeros e moléculas tensoativas podem sofrer mudanças ao longo do tempo, alterando também a estabilidade e as propriedades físico-químicas das emulsões. Assim, fica evidente que os sistemas emulsionados são termodinamicamente instáveis (Kedzior *et al.*, 2021).

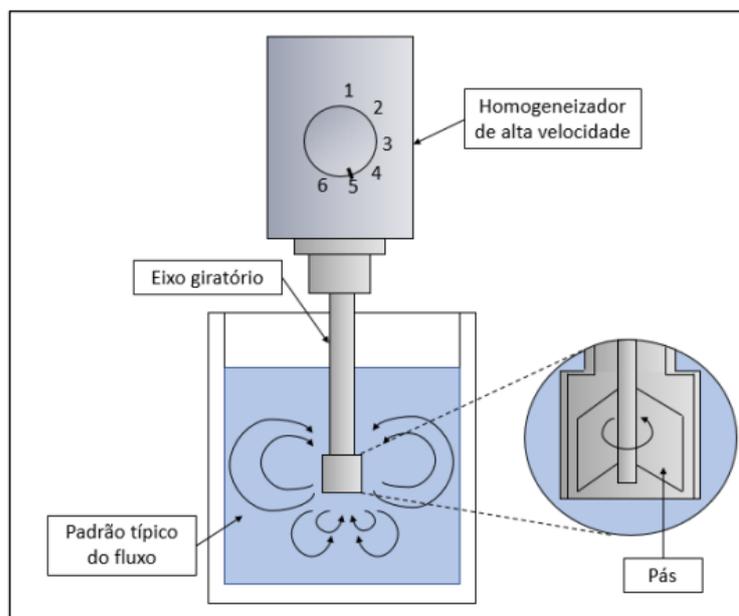
3.2.1. Emulsificação por homogeneização mecânica de alta velocidade

É utilizado um equipamento (Figura 4) que possui um motor acoplado a um eixo giratório e um cabeçote que fica em contato com a emulsão e realiza movimento de rotação unidirecional contínuo de alta velocidade responsável pela agitação e homogeneização do sistema. O tamanho da partícula diminui conforme aumenta-se o tempo e/ou velocidade de rotação, porém, o aumento dessas variáveis provoca aumento da temperatura devido à conversão de energia mecânica em calor (McClements, 2015; Melo, 2022).

Esses misturadores são geralmente utilizados na indústria alimentícia para homogeneizar diretamente os ingredientes da emulsão, capazes de operar em linha e manter a produção contínua de até algumas centenas de litros por hora. São favoráveis para a produção de emulsões de baixa ou média viscosidade, produzindo gotículas entre 1 e 10 μm de diâmetro e garantem a dispersão e dissolução eficaz

dos ingredientes. São especialmente utilizados para criar emulsões alimentares grosseiras (McClements, 2015).

Figura 5 - Representação de homogeneizador de alta velocidade.



Fonte: Melo (2022)

3.2.2. Emulsificação espontânea

A emulsificação espontânea baseia-se na diminuição da força interfacial, pois quanto menor a tensão interfacial, maior a possibilidade da ruptura das gotículas. (Walstra, 1983; Walstra e Smulders, 1998; Melo, 2022). Esse método é preferível para materiais sensíveis ao calor e agitação vigorosa pois consiste na adição de agentes surfactantes lipofílico e hidrofílico à emulsão junto a homogeneização por agitação mecânica de baixa potência por cisalhamento de menor energia (Kale e Deore, 2016).

A emulsificação espontânea é um método de baixa energia bastante utilizado na indústria farmacêutica para produzir nanoemulsões do tipo o/a capazes de carregar e liberar fármacos; essa metodologia vêm conquistando interesse crescente na pesquisa nos últimos anos (Solans e Solé, 2012).

3.3. Estabilização de emulsões

3.3.1. Estabilidade

A estabilidade de uma emulsão refere-se à sua capacidade de resistir a mudanças de suas propriedades ao longo do tempo (Ismail *et al.*, 2020; Velayati e Nouri, 2020). Devido à grande quantidade de energia empregada para sua formação e pelo aumento da área de contato interfacial, as emulsões são intrinsecamente instáveis em termos de termodinâmica, sendo assim, tendem a retornar ao estado menos energético que é representado pela separação das fases, minimizando suas áreas de contato (Chen *et al.*, 2020; Ho *et al.*, 2022).

A estabilidade pode ser influenciada pela viscosidade, taxa de mistura, tensão de cisalhamento, temperatura e quantidade de emulsificantes e de energia livre do sistema (Cai *et al.*, 2019; Ismail *et al.*, 2020). Além disso, mudanças físicas ou químicas e processos bioquímicos e microbiológicos podem ocasionar alterações nas propriedades das emulsões (McClements, 2015).

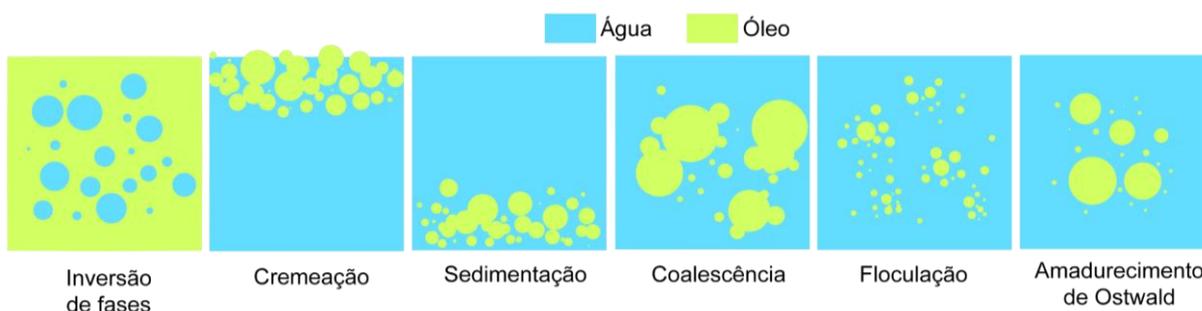
Após o preparo da emulsão é necessário manter sua característica dispersiva e evitar a separação de suas fases (Yamashita *et al.*, 2017). O controle de alguns parâmetros como o tamanho da gota, carga superficial, e viscosidade do sistema contribui para a formação de emulsões cineticamente estáveis (Lu *et al.*, 2019). Os principais fenômenos relacionados à estabilidade de uma emulsão à longo prazo são a separação gravitacional, coalescência, floculação, inversão de fase e amadurecimento de Ostwald, representados na Figura 5 (Fang *et al.* 2022). A desestabilização pode ser minimizada utilizando bons agentes estabilizantes, otimizando a viscosidade da fase contínua e reduzindo a diferença de densidade entre as fases da emulsão (Kedzior *et al.*, 2021).

3.3.2. Mecanismos de desestabilização

Cremação e Sedimentação são processos semelhantes de separação gravitacional que ocorrem em razão da diferença de densidade entre as fases da emulsão, do desequilíbrio entre as forças externas às gotículas e pelo movimento Browniano (movimento pseudoaleatório das gotículas). Esses fatores combinados

formam um gradiente de concentração que atua como força motriz para o movimento das gotículas (Angardi *et al.*, 2022).

Figura 6- Representação dos principais processos de desestabilização de emulsões



Fonte: Próprio autor (2023)

Cremeação é o processo em que as gotículas do sistema movem-se ascendentemente em razão de sua menor densidade em relação à fase contínua, formando uma camada de creme concentrada na superfície da emulsão. De modo semelhante, sedimentação é o processo em que as gotículas se movem descendentemente em razão de sua maior densidade em relação à fase contínua (Fang *et al.* 2022). Esses processos são precursores da coalescência, porém as gotículas mantêm-se emulsionadas e não ocorre separação de fases (Angardi *et al.*, 2022).

Flocculação é um processo reversível, causado pela colisão e agregação entre as gotículas com manutenção de sua integridade e individualidade, mas aparente aumento de tamanho. As gotículas do sistema estão dispersas de modo não aleatório, ou seja, concentram-se numa porção específica do meio, dessa forma, há maior probabilidade de estarem próximas umas das outras. Esse fenômeno acelera outros eventos como a formação de creme ou sedimentação. Acontece em razão de interações intermoleculares atrativas, pelo movimento Browniano, pela adsorção lenta do emulsificante ou quando não está presente em concentrações suficientes (Angardi *et al.*, 2022; Fang *et al.* 2022).

Coalescência é um mecanismo de agregação de partículas em que duas ou mais gotículas se fundem, formando uma única gota de tamanho maior. Esse processo acelera a cremeação e sedimentação e eventualmente pode desencadear a separação da fase oleosa no topo do sistema, evento denominado "oiling-off" (Fang *et al.* 2022). Esse processo depende do contato ou colisão entre as gotículas

e varia de acordo com o método de emulsificação; é irreversível e geralmente ocorre em decorrência da alta taxa de floculação, ausência de um filme interfacial rígido, baixas concentrações de óleo, baixa viscosidade interfacial, amplitude da diferença de densidade entre as fases e alta temperatura (Melo, 2022; Angardi *et al.*, 2022).

Inversão de fase é o mecanismo pelo qual ocorre a conversão de uma emulsão O/A em A/O, influenciado pela coalescência (Fang *et al.* 2022). Dois processos podem desencadear neste evento. Durante a agitação, gotículas da fase contínua podem inserir-se na fase contínua ou pode ocorrer aumento do volume da fração dispersa pela perda da fase contínua (Whitby e Wanless , 2016; Melo, 2022).

Amadurecimento de Ostwald é o fenômeno em que ocorre o crescimento de uma gota maior à custa de uma gota menor. Emulsões monodispersas são menos suscetíveis a esse fenômeno (Fang *et al.* 2022). Ocorre, pois, a variação de pressão é diretamente proporcional à tensão interfacial, e inversamente proporcional ao raio da gotícula, ou seja, quanto menor seu raio e maior a tensão na interface, maior a chance de serem desfeitas e liberarem seu conteúdo no meio, sendo incorporado em gotículas maiores e acelerando a separação de fases (Khedr e Striolo, 2019; Angardi *et al.*, 2022).

3.4. Emulsificantes

Devido à natureza instável das emulsões, é necessário o uso de agentes emulsificantes para estabilizar as gotículas da fase dispersa por mais tempo e evitar os processos de desestabilização. Agentes estabilizantes incluem qualquer substância que possua capacidade de aumentar a estabilidade cinética das emulsões pela manutenção de seu estado físico-químico (Zembyla *et al.*, 2020). São subdivididos em surfactantes de moléculas pequenas anfílicas como polissorbatos, monoglicerídeos e lectina, e os emulsificantes macromoleculares, como proteínas e polissacarídeos (Walstra, 1983; Walstra e Smulders, 1998).

Emulsificantes são moléculas capazes de formar ou manter um sistema uniforme entre duas ou mais fases imiscíveis, cujo mecanismo de estabilização consiste na sua adsorção à superfície das gotículas recém formadas da emulsão, formando um envoltório protetor e impedindo a aproximação e agregação das

gotículas (Ministério da saúde, 1997; Zembyla *et al.*, 2020). Em geral, são moléculas anfifílicas que reduzem as forças atrativas que existem na forma de tensão superficial (Kedzior *et al.*, 2021). Podem ser classificadas em não-iônicos, como os Spans e Polissorbatos (Tween), aniônicos, como sais de ácidos graxos e catiônicos como o arginato láurico (Kale e Deore, 2016).

Quando presente em concentrações ideais, adquirem uma conformação que minimiza a área de contato termodinamicamente desfavorável entre a região hidrofóbica das moléculas surfactantes e a fase aquosa da emulsão, devido ao efeito hidrofóbico. Bons agentes emulsificantes devem adsorver rapidamente à interface durante e após a homogeneização, reduzir significativamente a tensão interfacial e gerar forças repulsivas eficazes para proteger todas as gotículas a fim de evitar que ocorra desestabilização do sistema (McClements, 2015).

Alguns polissacarídeos de origem vegetal são frequentemente utilizados como emulsificantes de alimentos, estabilizadores, modificadores de textura e espessantes (Liu *et al.*, 2019). Sua ação emulsificante deve-se principalmente a sua estrutura química, como a presença de ramificações e grupos funcionais, conforme representado na Figura 6 (Jindal *et al.*, 2013). A presença de regiões hidrofílicas e lipofílicas permite a adsorção à interface pelo efeito hidrofóbico e reduz a área de contato entre os líquidos imiscíveis (McClements, 2015). A presença de grupos funcionais pode gerar repulsão eletrostática entre as gotículas e sua solubilização forma uma malha tridimensional capaz de aprisioná-las (Kale e Deore, 2016).

O mercado de polissacarídeos tem apresentado rápido crescimento, no entanto, encontra algumas dificuldades como a extração limitada que aumenta os custos de produção. O uso de emulsificantes sintéticos está relacionado a possíveis efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente, como disbiose intestinal, ganho de peso, aumento da permeabilidade intestinal, reações alérgicas e até distúrbios neurológicos (Markets e Markets, 2023). Dessa forma, é fundamental a busca por emulsificantes de origem natural com custo reduzido.

3.5. Polissacarídeos como emulsificantes

Polissacarídeos são polímeros de alta massa molecular que apresentam cadeia longa, ramificada ou linear (Chandra; Rustgi, 1998; Barclay *et al.*, 2019). São constituídos por unidades repetitivas de monossacarídeos unidas por ligações glicosídicas formando uma cadeia principal geralmente composta por mais de 20 unidades monoméricas. São coloides complexos resultados da condensação de inúmeras moléculas de aldoses e cetoses que por hidrólise libera esses monossacarídeos de cinco ou seis átomos de carbono (Sousa Júnior, 2017; Nelson e Cox, 2008). Os polissacarídeos podem ser classificados de acordo com os monossacarídeos constituintes; homopolissacarídeos apresentam as mesmas unidades repetidas várias vezes, enquanto os heteropolissacarídeos são compostos por dois ou mais monossacarídeos diferentes (Garna *et al.*, 2011).

Polissacarídeos naturais são extraídos de exsudatos de árvores, algas, sementes, fungos, matérias-primas vegetais fibrosas e por fermentação microbológica, e os polissacarídeos semi-sintéticos são obtidos por modificações químicas ou enzimáticas em sua estrutura (Caliceti *et al.*, 2010).

As propriedades físicas dos polissacarídeos dependem de sua composição monossacarídica, dos tipos de ligação, peso molecular, conformação, flexibilidade, hidrofobicidade, polaridade, comprimento e composição das ramificações, e também da presença de interações como ligações de hidrogênio, ligações de van der Waals e reticulação por ligações covalentes (Koyyadae Orsu, 2021; McClements, 2015; Pires *et al.*, 2015). Em geral apresentam caráter atóxico, biocompatibilidade, biodegradabilidade e fácil solubilidade (Soares *et al.*, 2014).

Polissacarídeos de origem vegetal vêm sendo aplicados na indústria alimentícia, como emulsificantes, espessantes, estabilizantes, edulcorantes, para melhorar da palatabilidade e textura de alimentos e como revestimento de alimentos (Silva, 2007; Melo, 2022; Souza *et al.*, 2010); na biomedicina como fibras, filmes, adesivos, espessantes, modificadores reológicos e hidrogéis, (Soares, 2015); e na indústria farmacêutica como carreadores de drogas (Nayak *et al.*, 2019).

3.5.1. Gomas

Gomas naturais são polissacarídeos heterogêneos de alta massa molar, total ou parcialmente solúveis em água (Rana *et al.*, 2011). Os exsudatos de goma vegetal são heteropolissacarídeos complexos, formados por ácidos urônicos, geralmente associadas a proteínas, que apresentam função de defesa ou sustentação, enzimas e compostos fenólicos (Anderson e Bell, 1975; Marques e Xavier-Filho, 1991). Os monossacarídeos mais encontrados são arabinose, galactose, glicose, manose, xilose e ácidos urônicos (Fennema, 1996; Sousa Júnior, 2017). As propriedades físico-químicas das gomas vegetais variam de acordo com a espécie, idade da planta, tempo de exsudação, condições climáticas, entre outros (Mothé e Rao, 1999; Silva, 2007).

Sua aplicabilidade deve-se a sua diversidade reológica, composição variada, baixo risco de efeitos colaterais, baixa toxicidade, biocompatibilidade, estabilidade, baixo custo, natureza hidrofílica, possibilidade de modificação química e capacidade de formar soluções de alta viscosidade, dispersões e géis, em baixas concentrações (Ribeiro *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2012; Rodrigues; Paula e Costa, 1993; Silva, 2007). Algumas gomas comerciais incluem as galactomananas obtidas de sementes de leguminosas, a goma Xantana que representa os polissacarídeos secretados por bactérias do gênero *Xanthomonas*, a goma gelana, produto da fermentação realizada pela bactéria *Pseudomonas elodea* e as gomas exsudadas de árvores que incluem a goma arábica exsudato natural da *Acacia senegal* e mais recentemente a goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*) (Fang *et al.* 2022).

3.5.2. Goma guar

A goma guar é um polissacarídeo galactomanano linear não iônico obtido do endosperma da semente de *Cyamopsis tetragonolobus*, constituído por uma cadeia principal de monômeros de β -D-manose (1 \rightarrow 4) ligados, parcialmente substituído em O-6 com grupos laterais α -D-galactopiranosil. (Koyyada e Orsu, 2021; Fang *et al.* 2022). Possui natureza hidrofílica e cadeia principal hidrofóbica, biodegradabilidade, capacidade de alterar propriedades reológicas de sistemas e de formar filmes (Fang *et al.* 2022). São amplamente utilizados na indústria, como sistemas carreadores de

fármacos e na liberação prolongada de drogas (Cunha *et al.*, 2005; Koyyada e Orsu, 2021).

3.5.3. Goma do cajueiro

A goma do cajueiro é exsudada pelo caule de *Anacardium occidentale* encontrada também em seus galhos, apresenta-se na cor amarelada a marrom avermelhado e é solúvel em água (De Paula *et al.*, 1998; Sousa Júnior, 2017; Kim *et al.*, 2018; Sousa Júnior, 2017). A figura 7 mostra a goma exsudada. A goma é um polissacarídeo de baixa viscosidade composta por 42% de polissacarídeo e 6% do complexo polissacarídeo-proteína, denominada fração arabinogalactana-proteína (Ribeiro *et al.*, 2016; Neto *et al.*, 2011; Yamassaki *et al.*, 2015). Apresenta potencial como emulsificante devido sua estrutura ramificada, que garante propriedade espessante e aumento da viscosidade de soluções (Wang *et al.*, 2019).

Figura 7- Goma exsudada de *Anacardium occidentale*.



Fonte: Araújo (2017).

As concentrações monossacarídicas do exsudato variam devido às variações sazonais, como origem, idade da árvore, época de exsudação e condições climáticas (Soares *et al.*, 2014). Árvores maduras produzem gomas mais viscosas devido às diferenças na estrutura molecular e no pH, pois apresentam mais proteína, umidade, açúcares e fenóis. (Ribeiro *et al.*, 2016).

Amostras da goma do cajueiro oriundas do Brasil, Venezuela, Índia e Papua exibem alguma variação na composição e apenas as espécies indianas apresentaram xilose (De Paula *et al.*, 1998; De Paula e Rodrigues, 1995). Amostras

brasileiras da goma apresentam composição monossacarídica de 73% de galactose, 11% de glicose, 6% de ácido glucurônico, 5% de arabinose, 4% de ramnose e 1% de manose (De Paula; Rodrigues, 1995). Outros estudos indicam proporções de β -D-galactose (72%), D-glicose (14%), arabinose (4,6%), ramnose (3,2%) e ácido glucurônico (4,7%) para a goma do cajueiro da região Nordeste (Menestrina *et al.*, 1998).

Algumas outras características dessa goma são o teor de água de 7,4 - 13,20%, presença de 0,5% de proteínas, 0,06% de lipídios totais, 0,95% de fibras, 0,50 - 1,20% de cinzas, 1,90 - 4,80% de materiais insolúveis e 0,21 - 2,26% de fenol. O teor total de carboidratos é de 98% e 1,9% de glicose, um açúcar redutor. Sua composição das cinzas contém Ca (0,14%), Mg (0,14%); P (0,005%); e Fe, (1,25%). O conteúdo energético total de 100 g da goma é cerca de 284 kcal (Nayak *et al.*, 2019; Nogueira Lima, 2002).

É parcialmente solúvel em água sob temperatura ambiente, devido à presença dos ácidos glucurônico e galacturônico que também possibilitam a interação com polications (Nayak *et al.*, 2019; De Paula *et al.*, 1998; Ribeiro *et al.*, 2016). A dissolução facilita sua agregação e acidifica o meio (Kim *et al.*, 2018). Pode formar soluções turvas, possivelmente em razão da presença de impurezas ou agregados de unidades polissacarídicas (Nayak *et al.*, 2019).

A goma do cajueiro apresenta propriedades semelhantes às da goma arábica, como tipo de unidade monossacarídica, massa molar, teor de ácido urônico, presença de ramificações, natureza polianiônica e anfifílica, semelhança estrutural e química, comportamento térmico e comportamento de fluxo não-newtoniano (Abreu *et al.*, 2012; Paula *et al.*, 2011; Cardial *et al.*, 2019; McClements, 2005; Pinto, 2015). A goma também apresenta características físico-químicas semelhantes à goma guar e xantana (Landim, 2008).

3.6. Arabinogalactano extraído da goma de *A. occidentale*

3.6.1. Anacardium occidentale

Anacardium occidentale é a espécie popularmente conhecida como cajueiro, taxonomicamente pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Sapindales, família Anacardiaceae e gênero *Anacardium* (Dantas, 2018). É encontrada em diversos países da América Central e foi levada à Ásia e África pelos portugueses e espanhóis no século XVI (Daramola, 2013). Atualmente é amplamente distribuída nas regiões de clima tropical e subtropical (Lim, 2011). Brasil, Índia, Quênia, Moçambique, Tanzânia, Angola e Vietnã, são os principais produtores do cajueiro (De Paula *et al.*, 1998; Lima *et al.*, 2001; Lim, 2011). Sua origem filogenética possivelmente inclui os limites da vegetação amazônica ou cerrados da região Nordeste, a vegetação de restinga ao longo da costa leste do Brasil ou indígena de savanas da Colômbia, Venezuela e Guianas (Mazzetto *et al.*, 2009; Lim, 2011).

A espécie adapta-se melhor em regiões costeiras de vegetação de praias, dunas e restingas com predominância na caatinga (Mazzetto *et al.*, 2009; Sousa Júnior, 2017). Os cajueiros vivem a cerca de 0 a 1000 m acima do nível do mar, em regiões de altas temperaturas com médias anuais de 17–38°C, e umidade relativa de 65% a 80%, sendo sensível a temperaturas mais baixas, porém tolerante à seca, precisando de 762 a 1275 mm de chuva bem distribuída anualmente, em razão de um sistema radicular bem desenvolvido, profundo, extenso e eficiente. Altas chuvas e umidade aumentam os riscos de infecção por patógenos. Podem crescer em solos arenosos, pobres, salinos, de savana estéreis, muito rasos, impermeáveis e lateríticos, com pH entre 4,3 a 6,5; é intolerante à má drenagem, solos calcários, altamente salinos, argilas puras e solos encharcados (Lim, 2011).

É uma árvore de cor verde e porte médio que pode atingir 15 m de altura e mais de 20 m de diâmetro da copa dependendo do genótipo e das condições em que está inserida, mas em média sua altura varia de 5 a 8 metros com diâmetro de 12 a 14 metros (Barros *et al.*, 2012). Existem dois ecótipos de cajueiro, o comum e o anão precoce (Lima *et al.*, 2013). O caule aéreo apresenta muitas ramificações de troncos baixos que podem tocar o solo (Barros *et al.*, 2012; Santos, 2019). A casca é marrom ou cinza de aspecto liso a áspero com fissuras longitudinais (Lim, 2011).

As folhas são simples, pecioladas, alternas, glabras, estreitas ou obovadas, oblongas ou elípticas, com consistência coriácea que medem entre 10 a 20 cm de

comprimento e 6 a 12 cm de largura (Dantas, 2018; Lim, 2011). As nervuras são proeminentes, de 9 a 14 pares amplamente espalhadas (Lim, 2011).

Sua inflorescência são brácteas proximais de coloração creme esverdeada (Dantas, 2018) dispostas em panículas terminais de 14 a 25 cm. É uma planta andromonóica, que forma flores pentâmera bissexuais ou masculinas, vermelhas e perfumadas (Pinto, 2015; Lima *et al.*, 2013; Lim, 2011). A floração geralmente acontece com o início da seca e o ciclo dura em média de 5 a 7 meses para o cajueiro comum e de 7 a 9 meses para o tipo anão precoce (Pinto, 2015; Lima *et al.*, 2013). A polinização é feita por abelhas, vespas, formigas, moscas e beija-flores (Lim, 2011).

O fruto verdadeiro é a castanha, um fruto seco e indeiscente denominado arquênio de aparência reniforme, constituída pela amêndoa (embrião) oleaginosa e comestível, pelo líquido da casca e pela casca (pericarpo) (Dantas, 2018; Santos, 2019; Lima *et al.*, 2013). Possui cerca de 3 cm de comprimento e 2,5 cm de largura; está ligado ao caju pela extremidade distal. A castanha é altamente nutritiva, rica em calorías, ácidos oleico e linoleico, vitamina E, proteínas, aminoácidos, vitamina K, minerais como Fe, Mg, Zn, Cu e Se e lipídios, principalmente ácidos graxos insaturados. Apresenta também vitamina B6, ácido pantotênico, luteína e zeaxantina. Sua dispersão é feita principalmente por morcegos frugívoros e pela água (Lim, 2011).

O pedúnculo, denominado caju, é seu pseudofruto de formato periforme ou rombóide, redondo ou alongado; é fibroso e succulento, possui casca macia, e não apresenta sementes; pode ser encontrado nas cores amarelo, laranja e vermelho. Pesa cerca de 40 a 80 gramas e o tamanho varia de 60 a 100 mm de comprimento (Luz *et al.*, 2015; Dantas, 2018; Santos, 2019). Apresenta carotenóides, ácido ascórbico, nutrientes vegetais como nitrogênio, potássio e fósforo, minerais como Cu, Zn, Na, K, Ca, Fe, P e Mg, tiamina, niacina e riboflavina. Seu suco contém quantidades significativas de ácidos orgânicos, vitaminas C e do complexo B, e polifenóis, principalmente flavonóides, carotenóides, ácido anacárdico e taninos (Lim, 2011; Honorato e Rodrigues; 2010; Lowor e Agyente-Badu, 2009; Adou *et al.* 2011).

Todos os componentes do cajueiro podem ser utilizados para diversas finalidades (Dantas, 2018; Santos, 2019). Há grande potencial de exploração de sua goma exsudada, capaz de substituir a goma arábica em diversas formulações (De Paula *et al.*, 1998). A goma apresenta boa aplicabilidade, baixo custo, caráter atóxico e biodegradabilidade (Cardial *et al.*, 2019). Pode ser aplicada industrialmente nos ramos alimentícios, cosméticos, farmacêuticos e têxtil (Soares, 2015; Pinto, 2015).

3.6.2. Produção da goma do cajueiro

A goma do cajueiro é obtida a partir do exsudato de *Anacardium occidentale* produzida pelas células epiteliais da casca, localizadas na margem dos ductos gomosos e através de transportadores transmembrana entra no lúmen dos ductos que transportam esse fluido de células lisadas para o meio externo, onde seca devido a evaporação da água (Torquato *et al.*, 2004 De Paula e Rodrigues, 1995).

As gomas exsudadas são estruturas altamente ramificadas produzidas em sua maioria por plantas superiores. A exsudação é simples e geralmente espontânea (Zong *et al.*, 2012; Pires, 2018); ocorre por um processo de gomose fisiológica, como mecanismos de defesa a um ataque físico, como uma lesão, ou biológico por microrganismos; atuando no sentido de vedar a ferida e evitar desidratação (Stephen *et al.*, 2006); ou por um processo de adaptação a determinadas condições climáticas, como regiões semiáridas ou períodos de estiagem (Silva, 2007; Coelho *et al.*, 2003).

A composição qualitativa e quantitativa depende da espécie, idade da planta, tempo de exsudação e das condições ambientais em que ela está inserida, mas sempre possuem ácidos urônicos e açúcares comuns (Ribeiro *et al.*, 2016; Silva, 2007; De Paula e Rodrigues, 1995; Silva, 2007). Algumas proteínas e enzimas presentes nas gomas estão envolvidas na resposta vegetal contra patógenos assim como a presença de compostos fenólicos que participam da defesa antioxidante (Marques e Xavier-Filho, 1991; Araújo, 2017). A extração pode ser realizada manualmente por meio de incisões no caule, ou quimicamente por substâncias como

óxido de etileno, derivados do ácido benzóico e ácido 2-cloroetilfosfônico inseridas na casca da planta (Ribeiro *et al.*, 2016).

A goma apresenta uma gama de características que justificam seu interesse comercial, como propriedades adesivas, inseticida, emulsificantes, antitumorais, antiparasitárias, cicatrizante, capacidade de modular o processo inflamatório, de formar de hidrogéis e filmes de revestimento, podem atuar como agentes flocculantes, clarificantes, encapsuladores, preenchedores de comprimidos, e como micro e nanopartículas (Ribeiro *et al.*, 2016; Soares *et al.*, 2014; Soares, 2015; Pinto *et al.*, 2018; Dantas Júnior, 2015). Além disso, é compatível com muitos excipientes biopoliméricos farmacêuticos, como a goma arábica e quitosana (Nayak *et al.*, 2019).

Na indústria alimentícia é utilizada como emulsificante, espessante, aglutinante, estabilizante, e adoçante, na clarificação de sucos, conservação do sabor de alimentos, retardo no descongelamento e na elaboração do vinho de caju (Koyyada e Orsu, 2021; Ribeiro *et al.*, 2016; Araújo, 2017; Nogueira Lima, 2002). A goma já foi aplicada na microencapsulação de extrato de café (Rodrigues e Grosso, 2008); como revestimento em mangas 'Tommy Atkins', para extensão do seu tempo de prateleira (Souza *et al.*, 2010); e também em revestimentos para prolongar a vida útil de goiabas, apresentando propriedades antifúngicas e antibacterianas (Forato *et al.*, 2015).

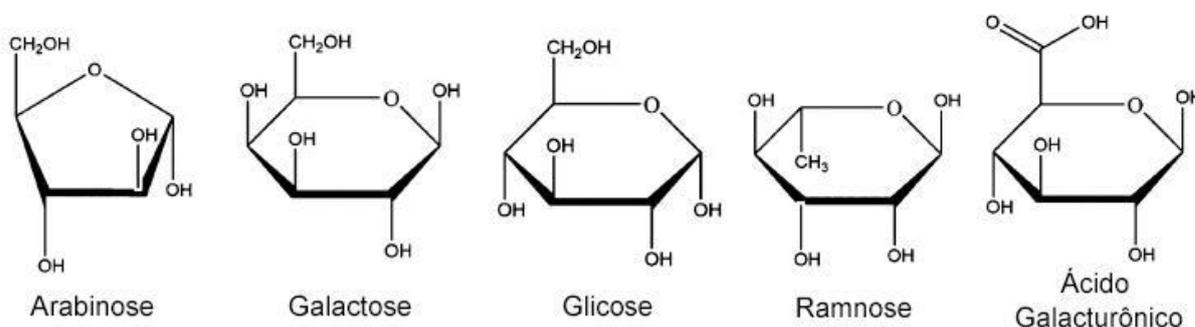
Na área farmacêutica, é aplicada na fabricação de cápsulas e comprimidos e nas formulações de micro e nano sistemas de liberação de fármacos (Araújo, 2017; Koyyada e Orsu, 2021). O uso da goma na liberação controlada de medicamentos é muito explorado, como matriz para cloridrato de pilocarpina, em partículas revestidas para cloridrato de diltiazem, em comprimidos para curcumina e como géis para lidocaína (Koyyada e Orsu, 2021). Comprimidos formulados com a goma de caju exibiram liberação prolongada por até 24 h (Nayak *et al.*, 2019).

3.6.3.. *Arabinogalactano*

Arabinogalactano é o principal polissacarídeo obtido da goma de *Anacardium occidentale L.*, popularmente conhecido como cajueiro (Soares *et al.*, 2014). É um heteropolissacarídeo ácido complexo e ramificado, cuja massa molecular é $1,6 \cdot 10^5$

KDa (Soares *et al.*, 2014; De Paula e Rodrigues, 1995). Sua estrutura é composta por diferentes hexoses e uma pentose (arabinose) na extremidade, contém galactose, arabinose, ramnose, glicose, xilose, ácido glucurônico, galacturônico, anacárdico e outros resíduos de açúcares, conforme apresentado na Figura 8 (Pires, 2018; Gowthamarajan *et al.*, 2011). Contém também quantidades detectáveis de grupos de nitrogênio e metoxila (Anderson e Bell, 1974).

Figura 8- Unidades monossacarídicas do Arabinogalactano.

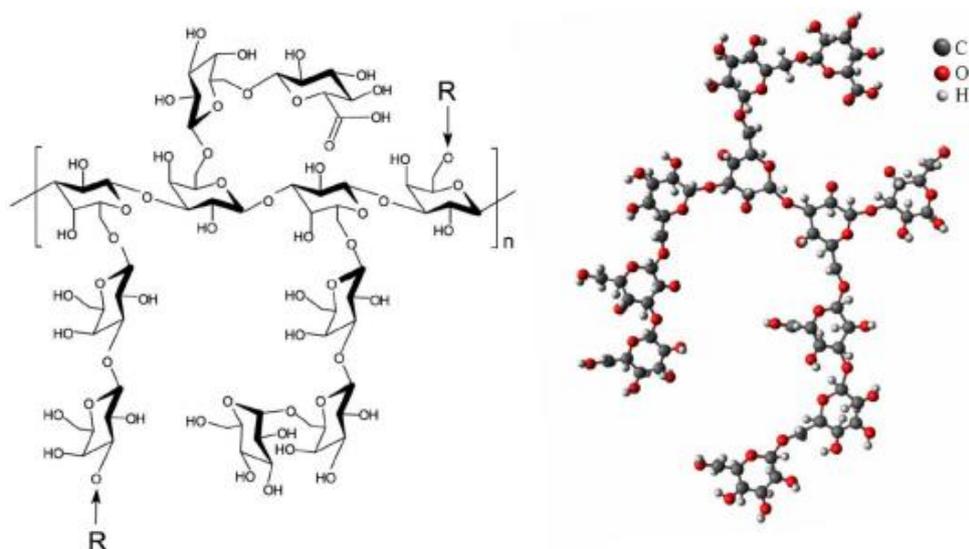


Fonte: Adaptado de Lu *et al.* (2022)

A estrutura do polissacarídeo é formada por cadeias complexas de arabinogalactanas ricas em β -D-galactopiranosil, altamente ramificada (De Paula *et al.*, 1998; Anderson e Bell, 1975). A cadeia principal é constituída por unidades de β -D-galactose (72%), conectada por ligações glicosídicas β -(1 \rightarrow 3), -O6 substituída com ramificações de β -galactose (1 \rightarrow 6). Os resíduos terminais são α -D-glicose (14%), arabinose (4,6%), ramnose (3,2%) e ácido glucurônico (4,7%). (De Paula e Rodrigues, 1995; Soares *et al.*, 2014). A arabinose está presente como grupo terminal ou em ramificações curtas ligadas com cinco unidades longas. (Anderson e Bell, 1975).

Análises dos espectros de ressonância magnética nuclear (RMN) mostram que o polissacarídeo apresenta quatro tipos de galactose, três delas presentes no núcleo, ligadas em C-1 e C-3, em C-1 e C-6 e em C-1, C-3 e C-6, e unidades terminais ligadas em C-1. Cada molécula contém uma unidade de galactose na extremidade redutora ligada em C-3 ou C-6 (De Paula *et al.*, 1998). A Figura 9 apresenta uma representação da estrutura da goma do cajueiro.

Figura 9 - Representação hipotética da goma do cajueiro, em que R representa as ramificações.



Fonte: Barros *et al.* (2020)

3.6.4. Aplicações

A nanoencapsulação é uma estratégia que compartimentaliza substâncias em carreadores nanométricos, na faixa de 50 a 300 nm, (Daudt *et al.*, 2013) permitindo a liberação controlada dos princípios ativos, transporte direcionado e maior biodisponibilidade para as células (Cardial *et al.*, 2019). Esse processo atua no sentido de proteger o material encapsulado minimizando os efeitos adversos, mascarando características organolépticas desagradáveis e modulando as taxas de liberação do fármaco (Brasileiro, 2011). Nanopartículas produzidas com a goma do cajueiro acetilada mostraram-se eficientes como matriz de encapsulamento de anfotericina B e indometacina e possivelmente a outros compostos hidrofóbicos (Cardial *et al.*, 2019).

Há também interesse em encapsular pesticidas para o controle de *Aedes aegypti*, responsável pela transmissão da dengue; estudos dessa vertente, utilizando a goma do cajueiro como componente da matriz polimérica encapsularam diclorvos 2,2-diclorovinil dimetil fosfato (DDVP) com 45 e 95% de eficiência, entre 30 a 50 horas, atingindo até 85% de mortalidade após 48 h (Paula *et al.*, 2006); outra formulação utilizando óleo essencial de *Lippia sidoides* obteve 55% de eficiência de encapsulamento e a liberação *in vitro* do óleo entre 45 e 95% em 30 a 50 horas (Oliveira *et al.*, 2014). Nanopartículas formuladas com a goma do cajueiro modificada hidrofobicamente por acetilação também mostraram eficiência como

carreadoras de drogas hidrofóbicas, como a indometacina, sustentando a liberação por 72 h (Nayak *et al.*, 2019).

Outras aplicações farmacêuticas incluem efeito gastroprotetor (Ribeiro *et al.*, 2016), potencial antidiarréico (Barros *et al.*, 2020), anti-séptico, antidiabético, antimicrobiano e como inibidor da enzima acetilcolinesterase (Melo *et al.*, 2006; Araújo, 2017). A goma exibiu potencial anticancerígeno contra o tumor melanoma metastático B16-F10, pela inibição do crescimento tumoral *in vivo* sem induzir toxicidade aos órgãos (Barros *et al.*, 2020). Outras áreas também desfrutam de sua aplicação, como na nutrição mineral que atua como depressor na flotação de minerais fosfatados, sendo considerado uma nova ferramenta biotecnológica para glicobiologia e glicobioquímica (Nogueira Lima, 2002). Seu diferencial é a alta disponibilidade no território brasileiro (Pinto, 2015), e as vantagens são o baixo custo, baixa toxicidade e caráter sustentável (Ribeiro *et al.*, 2016; Campos *et al.*, 2012)

3.6.5. Importância econômica

O Estado de Pernambuco abriga os ecossistemas de Caatinga e Mata Atlântica, sendo que o primeiro apresenta elevada biodiversidade e endemismo com cerca de 3.347 espécies, 962 gêneros e 153 famílias de angiospermas que consistem em fontes promissoras de polissacarídeos que podem ser aplicadas industrialmente, como o cajueiro (Campos *et al.*, 2021; Fernandes *et al.*, 2020; Melo, 2022).

O cajueiro é extensivamente plantado no Brasil, sendo considerado uma das culturas com maior importância econômica para a região nordeste (Melo, 2022). Em 2020 o país contava com 426,1 mil hectares de área plantados com cajueiro sendo 2.391 há no estado de Pernambuco, enquanto que em 2022 a área ocupada com este plantio foi estimada em 425,2 mil hectares, sendo 63,9%, no Ceará; 17,2%, no Piauí; 11,7% no Rio Grande do Norte (Brainer, 2022). A cajucultura se destaca como uma atividade de significativa importância socioeconômica e representa uma parcela significativa da economia da região Nordeste, em razão da industrialização de seu fruto e pseudofruto, pois gera emprego, renda e impostos na região (Silva, 2007;

Sarubbo *et al.*, 2007; Cunha *et al.*, 2013). No campo, emprega mais de 37.500 pessoas, além da indústria da castanha que gera mais de 15.000 empregos, e mais 250 mil de forma indireta (Lima *et al.*, 2013).

A goma de cajueiro apresenta uma grande possibilidade de produção comercial, sua produção anual média é de 700 g por planta, dessa forma, considerando o adensamento médio de 100 plantas/hectare, a produção anual atinge 50.000 toneladas, superando muitas vezes a quantidade de goma Arábica importada, que em 2019 foi de 1.278 toneladas um gasto de cerca de 3,67 milhões dólares de importação (Araujo, 2017; World Integrated Trade Solution, 2019).

A substituição de gomas comerciais pela goma do cajueiro permite redução de gastos na produção industrial, em razão do elevado preço envolvido na sua importação (Andrade *et al.*, 2013). A pesquisa por novas aplicações à goma do cajueiro pode agregar valor à sua cultura, amplia seu mercado de consumo, favorece a geração de lucro no período de entressafra do caju; gera possibilidade de desenvolvimento da comunidade local pelo aumento da renda de pequenos produtores, atua como uma alternativa para o aproveitamento de cajueiros improdutivos em fase de declínio ou senescência e é uma possibilidade de tornar o país exportador de um substituto da goma arábica ou goma guar comerciais (Cunha *et al.*, 2009; Dantas Júnior, 2015; Pinto, 2015; Nogueira Lima, 2002; Lima *et al.*, 2013).

4. METODOLOGIA

4.1 Materiais

O exsudato da *Anacardium occidentale* foi obtido de plantas da costa sul do estado de Pernambuco (Registro SISGEN: AA3AEE8). A goma guar foi obtida pela Dinâmica Química Contemporânea LTDA (Indaiatuba/SP, Brasil). O óleo de soja (Mazola) foi obtido de comércio local em Recife (PE). Todos os demais reagentes utilizados foram de grau analítico.

4.2 Extração e caracterização do arabinogalactano da *Anacardium occidentale*

O arabinogalactano foi extraído do exsudato de *Anacardium occidentale* pelo método descrito por Souza *et al.* (2010). O material foi triturado, pesado e dissolvido em água destilada (20 %[m/v]) utilizando um agitador magnético sob temperatura ambiente (25±2 °C) e agitação constante. A solução foi inicialmente filtrada em tecido voal e posteriormente em tecido de serigrafia (90 fios). A precipitação foi realizada com etanol (70 %[m/v]) 1:3 e o precipitado foi novamente filtrado em tecido de serigrafia (110 fios). Por fim, o material foi seco em estufa a 30 °C para remoção de etanol residual. O rendimento foi calculado de acordo com a fórmula 1, em que R= rendimento; P_{final}= Peso após extração (g); P_{inicial}= Peso da goma bruta (g).

Fórmula 1: Rendimento.

$$R (\%) = \frac{P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \times 100$$

O teor de carboidratos totais do arabinogalactano e da goma guar foi determinado pelo método fenol-ácido sulfúrico descrito por Dubois *et al.*, (1956), utilizando uma curva padrão de galactose (Merk, Alemanha) para estimar a concentração em mg/mL. A curva de calibração foi produzida diluindo 1 mg/mL de galactose em tubos de ensaio com as seguintes concentrações, 0,1; 0,05; 0,0375; 0,025; 0,0125 e 0,005 mg/mL, em um volume final de 400 µL. Para o branco foram utilizados 400 µL de água destilada. Posteriormente, foram adicionados em cada tudo 20 µL de fenol 80 %(m/v) e 1 mL de ácido sulfúrico (P.A.), seguido por agitação no vórtex e repouso por 30 min. A absorbância das soluções foi mensurada a 490 nm em um espectrofotômetro (Bel SPECTROs, 2000, Bel engineering – Itália).

Obteve-se assim uma curva padrão, cuja função linear e coeficiente de linearidade (R²) foram obtidos pela relação entre a absorbância em função da concentração de galactose. A concentração de carboidratos totais da amostra foi aferida pela razão entre o coeficiente linear da curva do polissacarídeo e o coeficiente linear da curva padrão de galactose. Os valores obtidos foram multiplicados por 100 e expressos em %(p/p). Os testes foram realizados em triplicata e expressos como média±desvio padrão de três medições.

O teor proteico do arabinogalactano e goma guar foi determinado pelo método descrito por Bradford (1976) utilizando albumina sérica bovina (BSA) (Merk, Alemanha) como padrão. A solução de 1 mg/mL de BSA foi diluída nas concentrações de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 µg/mL em tubos de ensaio. Posteriormente, 100 µL de cada solução padrão foram misturados com 2,5 mL do reagente de Bradford, e mantidas em repouso por 3 minutos. Foi por fim foram realizadas as leituras de absorvância em 595 nm em um espectrofotômetro (Bel SPECTROs, 2000, Bel engineering – Itália). Foi gerada uma função linear, com seu respectivo R^2 devido a relação entre a absorvância e a concentração, em µg/mL, do BSA em cada tubo.

Para determinar o teor proteico do arabinogalactano e goma guar, foram preparadas soluções de 1 mg/mL, que foram diluídas e preparadas como descrito anteriormente, utilizando um ponto da curva padrão de BSA. A concentração de proteínas na amostra (µg/mL) foi obtida pela aplicação da leitura obtida em nm na função linear gerada na curva de calibração. Os testes foram realizados em triplicata e expressos como média±desvio padrão de três medições.

4.3 Preparo das emulsões do tipo óleo em água (O/A)

Foram produzidas emulsões utilizando os polissacarídeos arabinogalactano e a goma guar (Dinâmica, SP) nas concentrações de 0,2 e 0,4 %(p/v), como agentes estabilizadores. As emulsões foram preparadas seguindo duas metodologias distintas: o método de emulsificação espontânea (Jafarizadeh-Malmiri *et al.*, 2022, modificado) e o método de homogeneização mecânica utilizando o UltraTurrax (T-10-IKA) (Melo, 2022, modificado). As concentrações foram determinadas baseando-se em estudos preliminares e delineamento experimental para as concentrações 0,1%(p/p), 0,2 %(p/p) e 0,3 %(p/p) na metodologia de agitação mecânica, sob as velocidades 15.000, 20.000 e 25.000 rpm, durante 3, 5 e 7 minutos. Os parâmetros da metodologia de emulsificação espontânea foram determinados a partir da literatura base. A nomenclatura das amostras foi definida quanto ao tipo de fase aquosa, concentração do polissacarídeo e metodologia utilizada (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição dos parâmetros das emulsões produzidas.

Amostra	Fase aquosa	Concentração do polissacarídeo (p/v)	Método de preparo
Ah 0,2	Arabinogalactano	0,2 %	Homogeneização mecânica
GGh 0,2	Goma Guar	0,2 %	Homogeneização mecânica
Ah 0,4	Arabinogalactano	0,4 %	Homogeneização mecânica
GGh 0,4	Goma Guar	0,4 %	Homogeneização mecânica
Ae 0,2	Arabinogalactano	0,2 %	Emulsificação espontânea
GGe 0,2	Goma Guar	0,2 %	Emulsificação espontânea
Ae 0,4	Arabinogalactano	0,4 %	Emulsificação espontânea
GGe 0,4	Goma Guar	0,4 %	Emulsificação espontânea
Ct	Água MiliQ	0,0 %	Emulsificação espontânea

Para o preparo das emulsões pelo método de emulsificação espontânea, o Tween 80 (11,25 %v/v) e o glicerol (3,75 %v/v) foram utilizados como coadjuvantes. Inicialmente, foi preparada a fase aquosa, pela solubilização do polissacarídeo, arabinogalactano ou goma guar, em água MiliQ filtrada em filtros de 0,22 μm , nas concentrações de 0,2 ou 0,4 % (p/v). Separadamente, ambos os coadjuvantes foram homogeneizados por agitação magnética (1800 rpm) durante cinco minutos. Em seguida, o óleo de soja (0,5 %v/v) foi adicionado à solução, que foi novamente agitada por 15 minutos. Por fim, foi adicionada a fase aquosa (84,5 %v/v) e a solução permaneceu sob agitação por 30 minutos. Para essa metodologia é necessário um controle negativo, devido a presença dos coadjuvantes, foi então preparada uma emulsão (Ct) cuja fase aquosa continha apenas água MilliQ, a fim de avaliar a atividade emulsificante isolada dos coadjuvantes Tween 80 e glicerol.

Para o preparo das emulsões pelo método de homogeneização mecânica, a fase aquosa foi inicialmente preparada pela solubilização dos polissacarídeos, o arabinogalactano e a goma guar, nas concentrações de 0,2 ou 0,4 %(p/v). Em seguida, o óleo de soja e a fase aquosa foram homogeneizados (0,5:100, respectivamente) utilizando UltraTurrax (T-10-IKA) a 20.000 rpm durante 5 minutos. Essa metodologia não necessita de um controle negativo pois contém apenas os componentes essenciais de uma emulsão, a fase aquosa, a fase oleosa e o emulsificante.

As emulsões destinadas às análises de tamanho de gotícula, índice de polidispersividade (PDI) e potencial zeta (ζ) foram armazenadas em tubos Falcon transparentes rosqueados contendo 15 mL cada, enquanto as amostras a serem utilizadas para a análise do índice de cremação, foram depositadas em tubos de vidro transparentes rosqueados, contendo 6 mL cada. Todas foram armazenadas sob refrigeração na temperatura de $10,0 \pm 2$ °C. A estabilidade das emulsões foi avaliada no decorrer de 70 dias, sendo cada análise realizada nos dias 1, 7, 21, 35, 49 e 70.

4.4 Tamanho de gotícula, PDI e potencial ζ

O tamanho das gotículas (nm) em suspensão na emulsão e seu índice de polidispersão (PDI) foram determinados utilizando o método de espalhamento dinâmico de luz (Deng *et al.*, 2020) através de um Zetasizer Nano ZS90 (ZEN3690, Malvern Instrument, U.K.). As medições foram realizadas utilizando 1 mL da emulsão em cubeta de vidro (PCS1115) de quatro faces lisas. Os parâmetros aplicados foram o índice de refração do óleo de soja de 1,47 a 20 °C com laser a ângulo fixo de 90 ° (Liu *et al.*, 2019). Para a medição do potencial ζ foi utilizado um adaptador universal do tipo 'Dip' (ZEN1002, Malvern Instrument, U.K.) conectado à cubeta de vidro antes de cada análise. Os resultados foram obtidos em triplicata, utilizando a equação de Smoluchowski (Hunter, 1981) e expressos como média \pm desvio padrão.

4.5 Índice de cremação

As emulsões (6 mL) previamente armazenadas tiveram seu índice de cremação aferido segundo a metodologia descrita por Udomrati *et al.* (2016). No

decorrer dos 70 dias do experimento, foram produzidas imagens dos frascos com a emulsão acompanhado de uma régua graduada em mm. As alturas das camadas de creme e de soro foram mensuradas pela análise dessas imagens utilizando o programa ImageJ 1,53k (National Institutes of Health, EUA). O índice de cremeação foi calculado através da razão entre a altura da camada de creme pela altura da emulsão, multiplicado por 100.

Fórmula 2: Índice de Cremeação

$$IC = \frac{\text{Altura da camada de creme (cm)}}{\text{Altura da emulsão (cm)}} \times 100$$

4.6 Análise estatística

A análise dos resultados foi realizada através do programa GraphPad Prism 8.0 (Graphpad Software, Inc), por meio de análise de variância (ANOVA) seguido de teste de Tukey, com um nível de significância de $p \leq 0,05$.

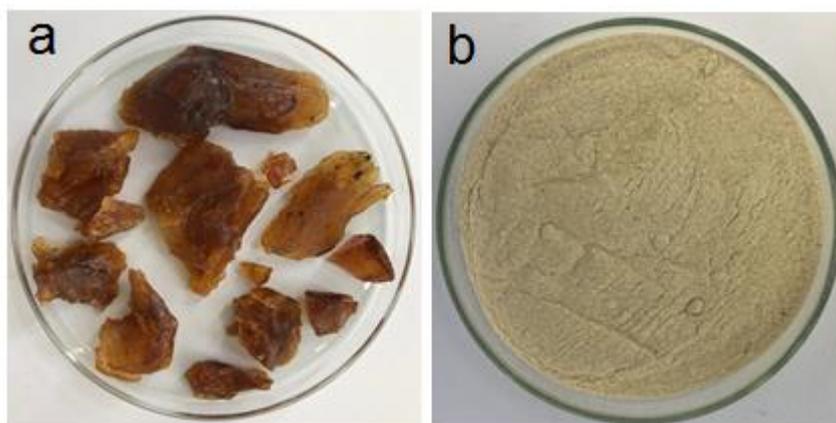
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Extração e purificação do arabinogalactano de *Anacardium occidentale*

Para a extração do polissacarídeo, foram pesadas 93,97 g do exsudato bruto do cajueiro (Figura 10a), dos quais foi possível extrair 22,27 g de arabinogalactano (Figura 10b). O rendimento obtido, calculado de acordo com o descrito na Fórmula 1, foi de 23,7 %(p/p).

O aspecto visual do polissacarídeo extraído foi um pó fino com coloração levemente amarelada, solúvel em água e odor semelhante ao do caju. Pinto (2015) e Barros *et al.* (2020) extraíram o polissacarídeo com coloração branca, assim como Araújo (2017) que o descreveu como um pó branco, amorfo, fino e seco.

Figura 10 - a) Exsudato de *Anacardium occidentale*; b) Arabinogalactano extraído do exsudato da *Anacardium occidentale*.



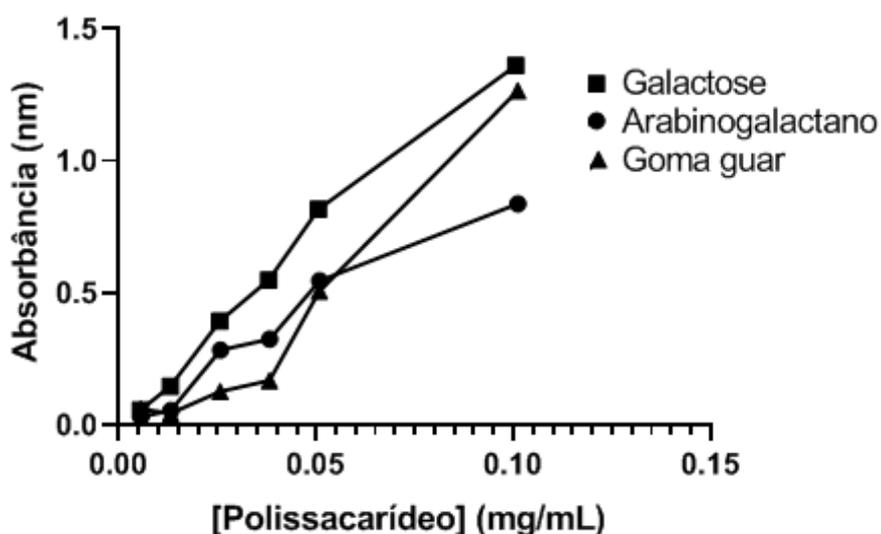
O valor encontrado de rendimento foi superior ao encontrado em outros trabalhos que extraíram o polissacarídeo da goma do cajueiro, como Sousa Júnior (2017), que obteve entre 15 % e 7,7 %(p/p) de rendimento, Dantas Júnior (2015), com valores entre 12,06 % e 14,92 %(p/p) e Araújo (2017) com 13,48%. Entretanto, foi inferior às quantias encontradas por Anderson e Bell (1974) com 50 %(p/p), Lopes *et al.* (1994) com 78 %(p/p), Silva (2014), 59%, Pinto (2015) com 45% e Barros *et al.* (2020) que atingiu 98% de rendimento.

As variações de rendimento podem ser explicadas pelas diferenças de manejo e metodologia utilizadas pelos autores, pelas condições de armazenamento, processamento, etapas de extração e purificação, por exemplo, a centrifugação permite a melhor separação das fases (Gobbo-Neto e Lopez, 2007). Além disso, as condições da planta influenciam tanto a quantidade de goma exsudada, quanto às proporções de seus componentes. Dentre os fatores, pode-se citar o estresse fisiológico causado por estímulos mecânicos ou ataque de patógenos e as variações ambientais, como a sazonalidade, clima, índice pluviométrico, disponibilidade hídrica e de nutrientes, ritmo circadiano, altitude e poluição atmosférica (Gobbo-Neto e Lopes, 2007).

O teor de carboidratos encontrado no arabinogalactano foi de $62,7 \pm 0,05$ (p/p) (Figura 11). O rendimento pode aumentar com maiores volumes de água devido à hidrofiliabilidade do polissacarídeo. Rendimentos superiores aos obtidos neste trabalho foram reportados por Melo (2022), que obteve 75 %(p/p) de carboidratos totais, de uma amostra do estado de Pernambuco, enquanto Porto e Cristianni (2014)

encontraram 97,73% de carboidratos da goma obtida no estado do Ceará. De Paula e Rodrigues (1995) obtiveram 94 % (p/p) de carboidratos totais da goma de *Anacardium Occidentale*. Nogueira Lima (2002) obteve 98 % de carboidratos totais.

Figura 11 - Curvas de dosagens da galactose (padrão), arabinogalactano extraído de exsudato *Anacardium occidentale* e goma guar.



O teor de carboidratos encontrado para a goma guar foi de 74,42%±0,02 (p/p) (Figura 11). Cunha *et al.* (2005) determinaram a concentração de carboidratos para a goma guar em 82,7 % (p/p), próximo ao valor encontrado por Debon e Tester (2001) que obtiveram 80,5 % (p/p). A goma guar utilizada neste trabalho foi obtida comercialmente e está de acordo com os padrões previstos pelo fabricante. A concentração de carboidratos encontrada para o arabinogalactano foi próxima à encontrada para a goma guar, e, portanto, foi considerada satisfatória para avaliar o potencial emulsificante do polissacarídeo. A goma guar apresentou R² ideal, próximo a um (0,993), por outro lado o R² do Arabinogalactano foi ligeiramente inferior (0,9561). Este achado pode estar relacionado com o maior teor de carboidratos encontrado para a goma guar.

A tabela 2 apresenta os valores de absorbância da curva padrão de BSA para dosagem de proteínas da qual foi calculado o teor proteico dos polissacarídeos em estudo através de um ponto da curva. O teor proteico do arabinogalactano foi de 0,4±0,02 % (p/p). De Paula e Rodrigues (1995) definiram a goma do cajueiro como um sistema heterogêneo, semelhante a goma arábica, classificando-o em três frações de diferentes massas molares, sendo que a fração A corresponde a um

complexo polissacarídeo-proteína, provavelmente uma proteína-arabinogalactana com 6% de concentração, este valor está mais próximo de 4,38%, encontrado por Melo (2022). Outros trabalhos, como os reportados por Gomez-Estaca *et al.*, (2016), Nogueira Lima (2002) e Porto e Cristianni (2014), encontraram concentrações proteicas para o arabinogalactano mais próximas do obtido neste estudo, com 0,26 %(p/p), 0,5 %(p/p) e 0,88 %(p/p), respectivamente.

A concentração de proteínas encontrada para a goma guar foi de $0,00393 \pm 0,04$ %(p/p), dentro dos parâmetros previstos pelo fabricante, valores muito baixos quando comparados a outros trabalhos, como os reportados por Cunha *et al.* (2005) que encontraram 3,6 %(p/p) e Debon e Tester (2001) com concentrações de 4,0 %(p/p). Porém a goma aqui testada é industrializada e purificada para apresentar teores reduzidos de proteínas.

Tabela 2 – Absorbância, função linear e coeficiente de determinação (R^2) da albumina sérica bovina (BSA).

[BSA] ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbância (nm)
	$y = 0,0182x$ $R^2 = 0,9386$
0	0,000
5	0,138
10	0,218
15	0,289
20	0,389
25	0,445
30	0,506

Extratos de polissacarídeos naturais costumam apresentar outros compostos em sua composição como sais inorgânicos, ligninas, ácidos nucleicos e proteínas (Kennedy e White, 1983). Nas gomas, as proteínas apresentam função estrutural ou de defesa associada à resposta contra patógenos (Marques e Xavier-Filho, 1991) e encontram-se associadas a algumas cadeias polissacarídicas, ou na forma de contaminante (Cunha *et al.*, 2005).

Alguns estudos sugerem que a natureza anfifílica das proteínas é favorável para seu uso como emulsificante por ancorar-se na interface da emulsão e impedir a

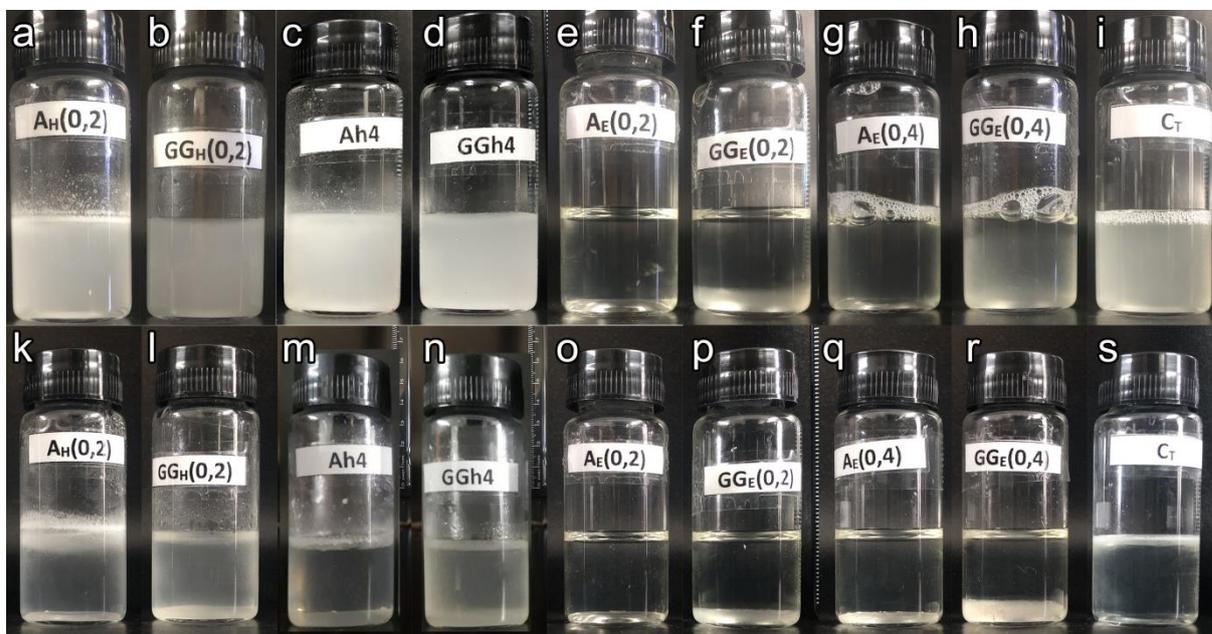
agregação das gotículas através da repulsão estérica e eletrostática (Chanamai e McClements, 2002). Outras vantagens envolvendo proteínas são observadas em emulsões estabilizadas com complexos de proteína-polissacarídeo que apresentaram menores valores de tamanho de gotícula em relação àquelas que utilizaram apenas polissacarídeos (Loyeau *et al.*, 2021). Em controvérsia, Liu *et al.* (2019) demonstraram que emulsões com maior teor proteico complexado aos polissacarídeos apresentaram estabilidade relativamente baixa, mostrando que as proteínas podem não ser as únicas responsáveis pela estabilidade das emulsões. No presente trabalho avalia-se o potencial emulsificante do polissacarídeo de *Anacardium occidentale*, dessa forma, baixas concentrações proteicas, conforme obtido nos resultados de dosagem estão de acordo com o desejado para o preparo de emulsões.

5.2. Potencial emulsificante do arabinogalactano de *Anacardium occidentale*

As emulsões preparadas por ambas as metodologias (Figura 12) apresentaram uma camada de espuma nos primeiros momentos após o preparo. A formação dessa camada para a metodologia de homogeneização mecânica está associada à incorporação de gás durante a agitação que forma uma camada interfacial coesiva gás-líquido (Djelveh e Gros, 1995). A camada de espuma nas emulsões por emulsificação espontânea deve-se à presença dos agentes surfactantes.

Emulsões instáveis apresentam formação de creme, sedimentação e separação de fases, fenômenos decorrentes da coalescência, floculação ou amadurecimento de Ostwald. Alguns outros fatores podem afetar indiretamente a estabilidade de uma emulsão por aumentar a interação entre as gotículas, como a temperatura, alta concentração da fase dispersa, pH, força iônica viscosidade, quantidade e propriedades dos componentes emulsificantes (estrutura, carga, etc), tensão de cisalhamento, quantidade de energia livre do sistema (Kedzior *et al.*; Ismail *et al.*, 2020). Para avaliar o potencial estabilizante de um polissacarídeo utiliza-se parâmetros como o índice de polidispersividade (PDI), o tamanho de gotículas, o potencial zeta (ζ) e o índice de cremeação (Melo, 2022).

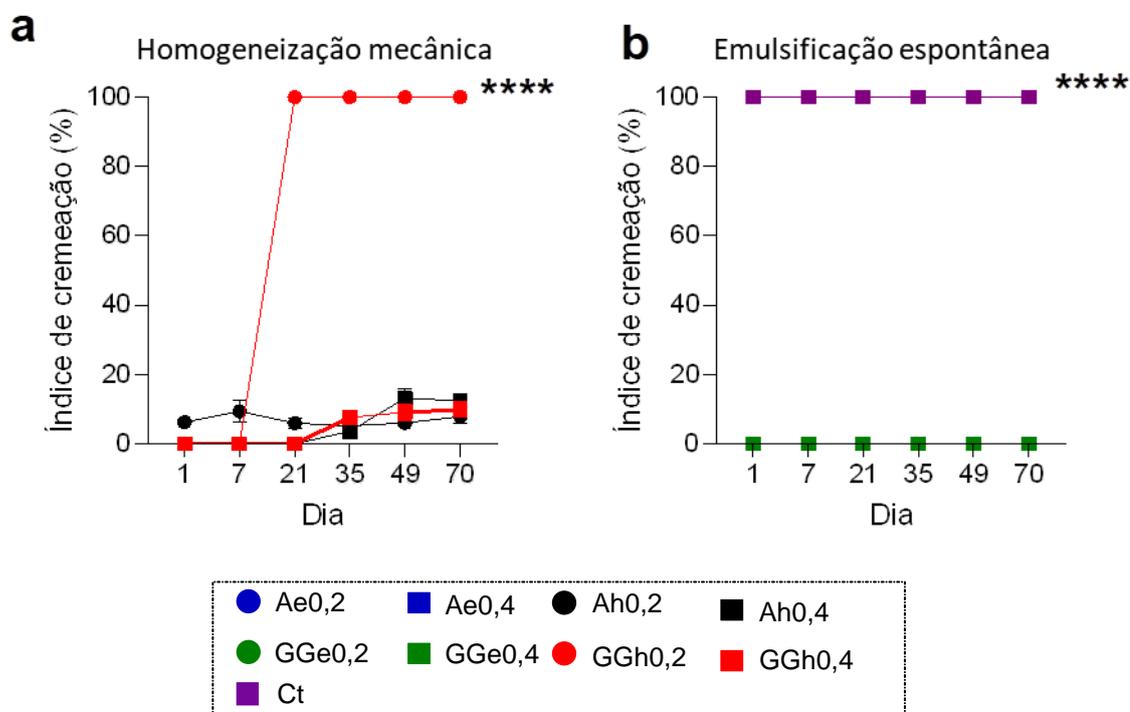
Figura 12 - Emulsões estabilizadas pelo arabinogalactano e goma guar pelas técnicas de homogeneização espontânea (e) e homogeneizador mecânico (h) nos dias 0 (a-i) e 70 (k-s).



5.2.1. Índice de cremação

As amostras Ah 0,2, GGh 0,2, Ah 0,4, GGh 0,4 e Ct foram as únicas que cremearam ao decorrer dos 70 dias de análise (Figura 12 e Figura 13). No Dia 1, Ah 0,2 já apresentou uma camada de soro, que se manteve uniforme em cerca de $8,0 \pm 1,0\%$ (Figura 20a) no decorrer dos dias, enquanto GGh 0,2 e Ct apresentaram separação completa de fases no sétimo dia e no primeiro dia, respectivamente. A cremação é um mecanismo de separação gravitacional de fases que ocorre devido à diferença de densidades entre as gotículas e a fase contínua (Udomrati *et al.*, 2016). O Índice de cremação (IC) é uma forma de obter informações indiretas sobre a extensão da floculação das gotículas em uma emulsão. Emulsões mais estáveis apresentaram menor índice de cremação (Porto e Cristianni, 2014).

Figura 13 - Índice de cremeação de emulsões o/a preparadas com o arabinogalactano (A) e goma guar (GG) como fase aquosa em concentrações de 0,2 e 0,4 % (p/v) por homogeneização mecânica (h) e emulsificação espontânea (e).



Legenda: Estatística referente ao dia 70 (a)**** $p < 0,0001$ (Ah0,2 vs. GGh0,2; Ah0,2 vs. Ah0,4; GGh0,2 vs. Ah0,4; GGh0,2 vs. GGh0,4). (b)**** $p < 0,0001$ (Ct vs. Ae0,2; Ct vs. Ae0,4; Ct vs. GGe0,2; Ct vs. GGe0,4).

O tamanho de gotícula está diretamente relacionado à formação de creme, sendo assim, emulsões de gotículas maiores tendem a cremear mais rápido (Porto e Cristianni, 2014) em concordância com os achados neste estudo. Em relação a Ah 0,2, Cardial *et al.* (2019) obteve resultados relativamente próximo aos aqui relatados, de 8 a 20% de cremeação em suas preparações. Esta preparação cremeou em apenas um dia de experimento, diferente do encontrado por Porto e Cristianni (2014) cujas amostras cremearam no quinto dia de avaliação, e por Melo (2022) que cremearam no sétimo dia de armazenamento, assim como outras formulações com diferentes polissacarídeos como a goma arábica e a goma da baraúna. Por outro lado, Ah 0,4 e GGh 0,4 cremearam apenas no dia 35, demonstrando maior estabilidade. As emulsões preparadas por emulsificação espontânea com os polissacarídeos não formaram camada de creme (Figura 13), demonstrando maior eficácia dessa metodologia em relação à homogeneização mecânica.

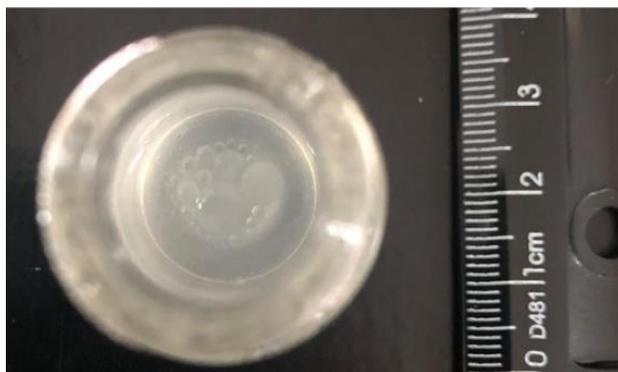
Emulsões preparadas por Melo (2022) armazenadas a $10 \pm 2^\circ\text{C}$ apresentaram índice de cremação reduzido quando estabilizadas por polissacarídeos como a xiloglucana, por volta de 20%. Tan *et al* (2020) avaliou o índice de cremação de emulsões mantidas durante sete dias em temperatura ambiente, obtendo cerca de 40% de cremação. Porto e Cristianni (2014) encontraram maior altura de camada de creme em emulsões armazenadas à 25°C , quando comparados aos resultados aqui apresentados. Sun *et al* (2023) preparou nanoemulsões com a goma de linhaça sob as temperaturas de 4°C , 25°C e 37°C durante 7 dias e observou que o índice de cremação apresentou aumento considerável conforme aumentava-se a temperatura, sendo que as preparações armazenadas à 4°C apresentaram cerca de 10% de índice de formação de creme, enquanto temperaturas mais elevadas com 25°C e 37°C atingiram 40% e 60% respectivamente de cremação. Os valores de IC descritos neste estudo estão de acordo com o relatado na literatura quanto à temperatura de armazenamento.

Para esse parâmetro, a concentração do polissacarídeo foi relevante apenas para a homogeneização mecânica, em que maiores concentrações permaneceram sem cremear por mais tempo. Nesse sentido, houve também diferença quanto à turbidez da amostra, cujas preparações de menor concentração de polissacarídeo mostraram-se mais translúcidas. As emulsões podem ser turvas ou esbranquiçadas devido ao efeito *Tyndall*, e as que apresentam gotículas inferiores à 100 nm podem apresentar-se transparentes (Kedzior *et al.*, 2021).

A ocorrência múltipla de coalescência de gotículas pode ocasionar no "oiling-off", evento no qual ocorre formação de uma camada superficial de óleo separada (Fang *et al.* 2022). Esse evento precede a separação total das fases, ocorrido em GGh 0,2 e Ct em que as gotículas de óleo estavam visíveis na superfície da preparação, como mostra a figura 14.

Liu *et al.* (2019) obtiveram um bom potencial emulsificante para polissacarídeos do inhame chinês, em emulsões armazenadas por sete dias. Melo (2022) obteve emulsões estabilizadas com arabinogalactano com até 96% de atividade emulsificante, além de outras formulações com outros polissacarídeos como a goma xantana, classificadas como bons estabilizantes ao longo de 28 dias.

Figura 14 - Gotículas de óleo formadas pela separação de fases de GGh 0,2.



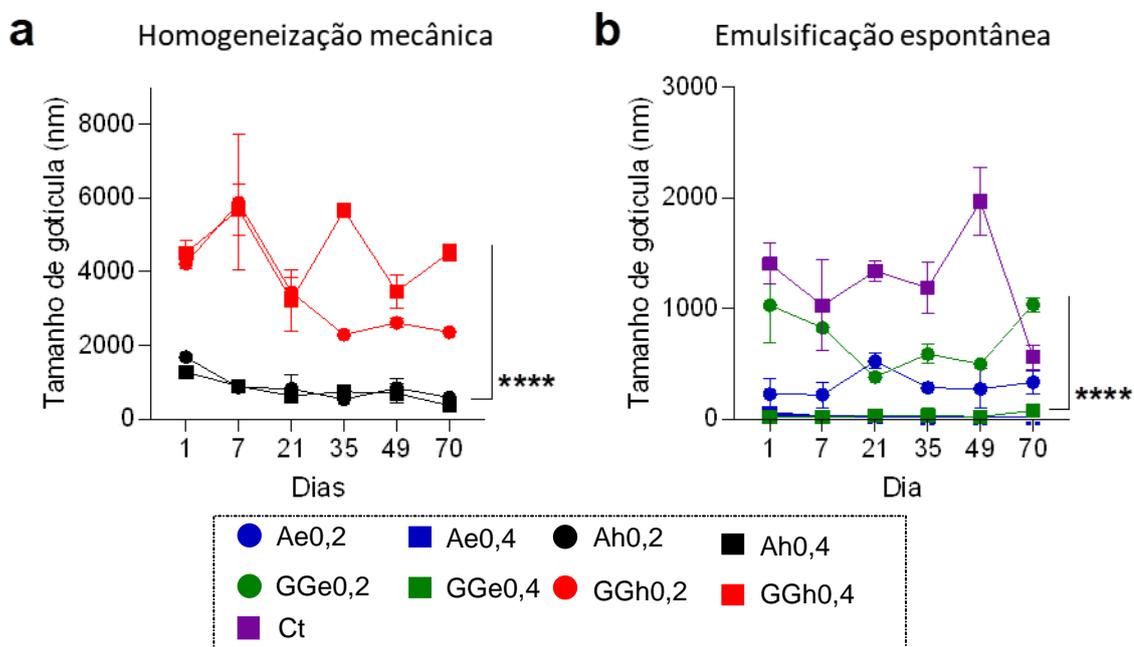
Fonte: Próprio autor (2023)

A metodologia de homogeneização mecânica foi pouco eficaz em produzir emulsões estáveis, visto que todas as emulsões preparadas cremearam. A metodologia de emulsificação espontânea foi eficiente no preparo de nanoemulsões com a concentração de 0,4% de polissacarídeos e ausência de cremeação, sendo a concentração 0,2% insuficiente para manter a estabilidade. A ocorrência de separação completa de fases de Ct, produzido pela mesma metodologia, mas sem polissacarídeos como emulsificantes, corrobora com a importância do polissacarídeo como emulsificante, especialmente o arabinogalactano extraído de *A. occidentale*.

5.2.2. Tamanho de gotícula e Índice de polidispersividade (PDI)

A metodologia de emulsificação espontânea apresentou resultados satisfatórios em relação a homogeneização mecânica, a partir da qual as formulações Ae 0,4 e GGe 0,4 atingiram o estado de nanoemulsão com tamanhos de $13,2 \pm 0,4$ nm e $78,3 \pm 6,3$ nm respectivamente (Figura 15b e 17). O controle negativo apresentou os maiores tamanhos de gotícula com tamanhos superiores a $561 \pm 107,3$ nm (Figura 15b) e PDI ($1,0 \pm 0,0$) (Figura 16b). Esses resultados corroboram para o potencial efeito do arabinogalactano na formação de nanoemulsão, e não apenas a adição de Tween 80 e glicerol. Xin *et al.* (2013), relataram que a adição de surfactantes iônicos foi capaz de reduzir o tamanho de gotícula de nanoemulsões.

Figura 15 - Tamanho de gotícula de emulsões o/a preparadas com o arabinogalactano (A) e goma guar (GG) como fase aquosa em concentrações de 0,2 e 0,4 %(p/v) por homogeneização mecânica (a) e emulsificação espontânea (b).



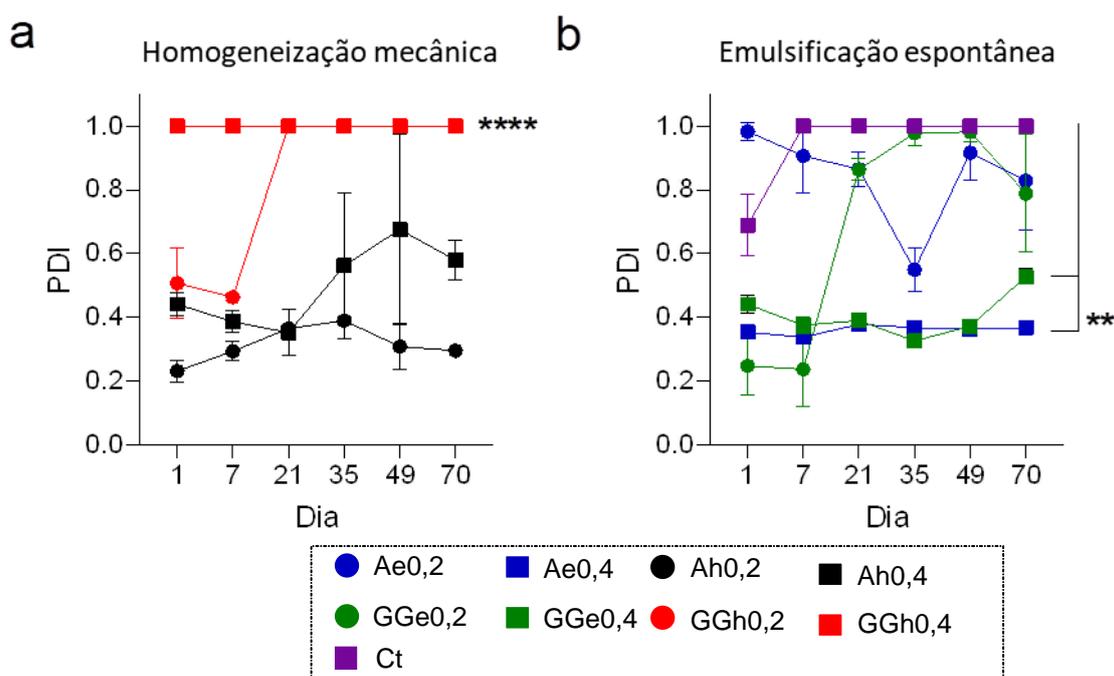
Legenda: Estatística referente ao dia 70 (a)**** $p < 0,0001$ (Ah0,2 vs. GGh0,2; Ah0,2 vs. GGh0,4), (b)**** $p < 0,0001$ (Ae0,4 vs. Ae0,2; Ae0,4 vs. Ct; Ae0,4 vs. GGe0,2; GGe0,4 vs. Ae0,2; GGe0,4 vs. Ct; GGe0,4 vs. GGe0,2).

Jafarizadeh-Malmiri *et al.* (2022), utilizando metodologia semelhante de homogeneização espontânea, obtiveram nanoemulsões com partículas cujo tamanho de gotícula variou entre 31 a 109 nm. Semelhantemente Sayyar e Jafarizadeh-Malmiri (2019) obtiveram nanoemulsões de curcumina, cujo tamanho de gotícula obtido foi entre 10 a 100. Cardial *et al.* (2019) obtiveram emulsões de Pickering com a goma do cajueiro hidrofobizada, cujos tamanhos de gotícula foram inferiores a 600 nm. Xu *et al.*, 2018 também encontraram gotículas menores e mais uniformes em relação a métodos de alta energia utilizando Span 20 e Tween 20 no preparo de nanoemulsões O/A. Considera-se, portanto, que este resultado está de acordo com o esperado para a metodologia aplicada utilizando a emulsificação espontânea.

O tamanho de gotícula sofre influência direta da velocidade de agitação responsável pela quebra das gotículas (McClements, 2015). Contudo, as emulsões preparadas pelo UltraTurrax com arabinogalactano e goma guar apresentaram gotículas de elevado tamanho, especialmente a goma guar com tamanhos de

2359,7±35,1 nm para GGh 0,2% e 4521,0 ±218,0 nm para GGh 0,4% (Figura 15a). Isso demonstrou que essa metodologia não foi eficiente em formar nanoemulsões. GGh 0,2%, conforme esperado, apresentou também alto valor de PDI de 1,0 (Figura 16a). Melo (2022) utilizando metodologia semelhante para o preparo de emulsões por homogeneização mecânica com diferentes polissacarídeos também obteve emulsões convencionais, cujos tamanhos de gotículas se encontraram na faixa micrométrica (433,5 a 5075 nm). Wei *et al.* (2020) também obtiveram emulsões utilizando polissacarídeos modificados da goma da fibra do milho cujos tamanhos de gotículas também se encontravam na faixa micrométrica de (1,0 a 3,0 µm). Além disso, emulsões formuladas com outros polissacarídeos avaliados por Melo (2022) como a galactomanana extraída das sementes de *Cassia grandis* e a xiloglucana extraída das sementes de *Hymenaea courbaril*, foram capazes de gerar emulsões com tamanhos de gotícula semelhantes às do arabinogalactano. Em geral, métodos de baixa energia são eficientes no preparo de nanoemulsões enquanto métodos de alta energia, como os misturadores de alta velocidade costumam formar emulsões grossas com gotículas de tamanho maior que 1 µm (Fang *et al.* 2022).

Figura 16: Índice de polidispersividade (PDI) de emulsões o/a preparadas com o arabinogalactano (A) e goma guar (GG) como fase aquosa em concentrações de 0,2 e 0,4 %(p/v) por homogeneização mecânica (a) e emulsificação espontânea (b).



Legenda: Estatística referente ao dia 70 (a)**** $p < 0,0001$ (GGh0,2 vs. Ah0,2; GGh0,2 vs. Ah0,4; GGh0,4 vs. Ah0,4; GGh0,4 vs. Ah0,2). (b)** $p < 0,01$ (Ae0,4 vs. Ae0,2; Ae0,4 vs. Ct; Ae0,4 vs. GGe0,2; GGe0,4 vs. Ae0,2; GGe0,4 vs. Ct; GGe0,4 vs. GGe0,2).

Da Silva *et al.* (2009) produziram nanopartículas utilizando a goma do cajueiro e ácidos acrílicos cujos tamanhos de gotícula variaram entre 71 a 603 nm. Silva *et al.* (2010) obtiveram nanopartículas inferiores a 200 nm utilizando quitosana e o polissacarídeo da goma do cajueiro carboximetilada. Cardial *et al.* (2019) desenvolveram sistemas auto-organizados utilizando o polissacarídeo acetilado cujos tamanhos de gotícula foram inferiores a 200 nm. Apesar dos valores de tamanhos de gotículas menores das emulsões preparadas utilizando a goma do cajueiro acetilada, os mesmos não são suficientes para classificá-las como nanoemulsões. As nanoemulsões costumam ser desejáveis em razão de sua maior estabilidade contra a formação de creme, sedimentação, coalescência e floculação. Além disso, apresentam maior área de superfície e conseqüentemente mais energia livre, sendo assim consideradas bons meios de transporte (Fang *et al.* 2022). Sendo assim, o presente trabalho demonstrou que a emulsificação espontânea foi um método eficiente para o preparo de nanoemulsões, sem a necessidade de modificações estrutural no arabinogalactano extraído da goma do cajueiro.

Além de tamanhos de gotícula reduzidos, emulsões estáveis apresentam baixos valores de polidispersão, pois gotículas de tamanhos aproximados evitam o amadurecimento de Ostwald, pela redução da diferença de pressão efetiva entre as gotículas, responsável por criar gotículas de tamanho maior e favorecer outros eventos de desemulsificação, como floculação e coalescência. Para a produção de nanopartículas com polímeros, o PDI ideal deve ser inferior a 0,2 (Khedr e Striolo, 2019). Os menores valores de PDI foram obtidos com Ah 0,2 (Figura 16a), próximo da faixa desejável ($0,3 \pm 0,0$); essa formulação apresenta elevados tamanhos de gotícula (Figura 15a), porém todas apresentam aproximadamente o mesmo tamanho, sendo considerada monodispersa. Esse achado está próximo ao obtido por Melo (2022) em uma formulação com arabinogalactano, porém contrapõe os demais valores superiores a 0,9 das demais formulações com este polissacarídeo, com a goma arábica comercial e a xiloglucana.

Ae 0,4 também apresentou baixo PDI ($0,4 \pm 0,0$) (Figura 16b). Cardial *et al.* (2019) obtiveram sistemas auto-organizados com o polissacarídeo da goma do

cajueiro acetilada cujos valores de PDI ficaram entre 0,2 e 0,3, muito próximo aos obtidos neste trabalho, sendo considerados sistemas relativamente homogêneos. O controle negativo, Ae 0,2 e GGh 0,2 apresentaram altos valores de PDI (Figuras 14a e 14b) aproximando-se de 1 entre a primeira e a segunda semana de armazenamento, e mantiveram esta instabilidade até o fim dos 70 dias. GGe 0,2 no início apresentou bons resultados de PDI, que aumentaram drasticamente a partir da terceira semana, aproximando-se dos demais sistemas avaliados (Figura 16b).

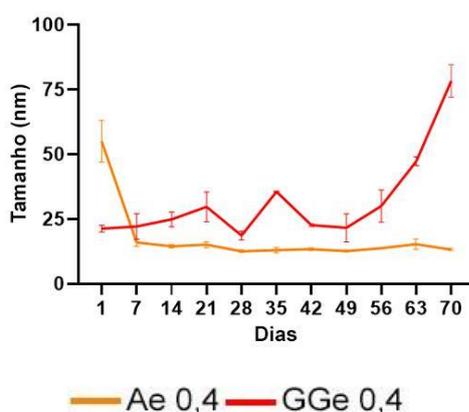
O tamanho de gotícula obtido para a goma guar por homogeneização mecânica chegou a atingir mais de 6000 nm (Figura 15a), cerca de 4 vezes maior que as gotículas obtidas pelo arabinogalactano de *A. occidentale* (Figura 15a), além de apresentarem elevado valor de PDI (~1) durante todo o experimento (Figura 16a). Quanto às emulsões preparadas por emulsificação espontânea, os tamanhos de gotícula e PDI encontrados para a goma guar foram próximos aos encontrados para o arabinogalactano nas mesmas concentrações (Figura 15b e figura 16b). A figura 17 mostrou que, com exceção do primeiro dia, o polissacarídeo da goma do cajueiro apresentou gotículas com menor tamanho ao longo dos 70 dias, enquanto as gotículas da goma guar a partir do dia 49 apresentaram rápido crescimento, acompanhado por um leve aumento no PDI (Figura 16b).

Fernandes *et al.* (2021) obtiveram nanopartículas de goma guar que apresentaram cerca de 200 nm de tamanho que após 28 dias de armazenamento apresentaram leve aumento de tamanho, atingindo 262 nm com valores de PDI abaixo de 0,2. Embora o tamanho de gotícula aqui obtido na concentração polissacarídica de 0,4% da goma guar seja inferior, as gotículas também aumentaram de tamanho (figura 17).

Considerando essas variáveis, o arabinogalactano mostrou maior eficiência em relação à goma guar. Alguns estudos sugerem que a fração proteica de polissacarídeos complexos é responsável pela estabilidade da molécula por adsorver à interface (Brummer *et al.*, 2003; Dickinson, 2003; Porto e Cristianni, 2014), sendo uma possível justificativa para a atividade emulsificante do arabinogalactano. Outros estudos sugerem que polissacarídeos ramificados apresentam maior atividade emulsificante em relação aos polissacarídeos lineares possivelmente pelo aumento da viscosidade do sistema e impedimento físico da

movimentação das gotículas pela formação de uma malha tridimensional formada com sua solubilização (Jindal *et al.*, 2013; Kale e Deore, 2016). Sendo assim, os resultados encontrados corroboram com os dados da literatura, pois o arabinogalactano, polissacarídeo ramificado (Soares *et al.*, 2014. De Paula; Rodrigues, 1995) apresentou boa atividade emulsificante.

Figura 17 - Tamanho de gotícula das emulsões preparadas com o arabinogalactano e a goma guar a 0,4 % (p/v) por emulsificação espontânea em função do tempo de armazenamento (dias). Escala: 0-100 nm.

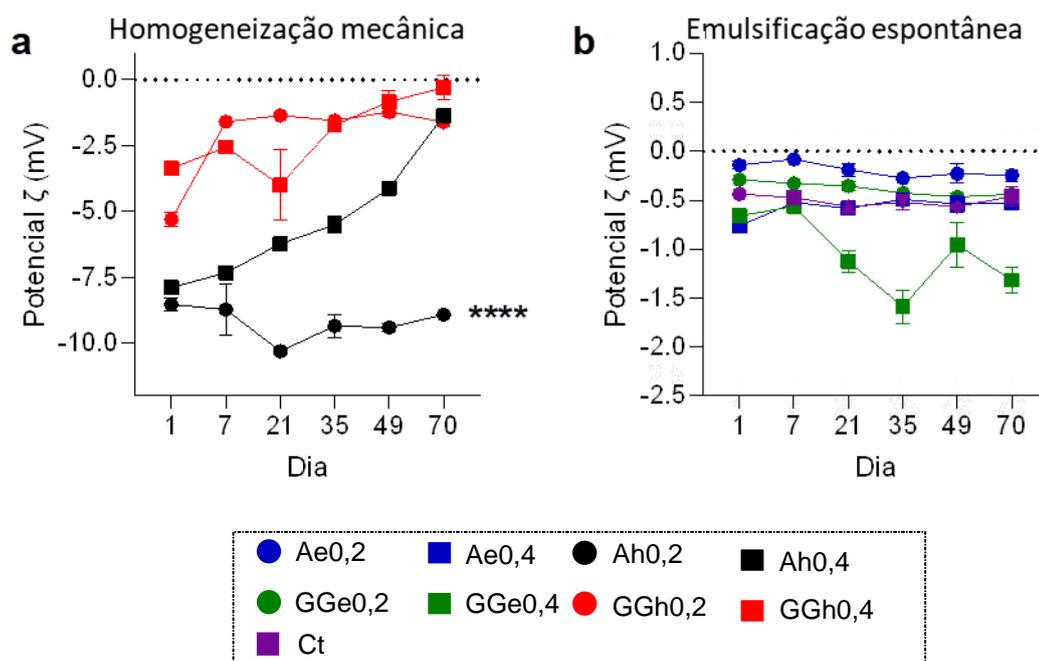


A concentração do polissacarídeo foi indiferente para a homogeneização mecânica, entretanto, foi um fator relevante para a metodologia de emulsificação espontânea. Observa-se que apenas as concentrações de 0,4% formaram nanoemulsões para ambos os polissacarídeos. Ae 0,2 e GGe 0,2 apresentaram elevado tamanho de gotícula com tamanhos maiores que 100 nm (Figura 15b) e alta polidispersividade com valores de PDI maior que 0,6 (Figura 16b). A Figura 15b demonstrou que os mesmos polissacarídeos atingiram tamanho de gotícula inferior a 100 nm na concentração de 0,4 % (p/v). Xu *et al.* (2018) relataram em seu trabalho que o tamanho das gotículas das nanoemulsões diminuem com o aumento do teor de emulsificante, corroborando os resultados obtidos neste trabalho para a metodologia de emulsificação espontânea. A baixa concentração do emulsificante permite que as gotículas se aproximem e causa floculação e coalescência por não estabilizarem apropriadamente o sistema (McClements, 2015). Nota-se, portanto, que a concentração polissacarídica 0,2% não foi suficiente para estabilizar emulsões por essa metodologia.

5.2.3. Potencial Zeta (ζ)

A emulsão Ah 0,2 % apresentou os maiores valores de potencial ζ ao longo de todo o experimento, superiores a $|8,9 \pm 0,1 \text{ mV}|$, diferente das emulsões preparadas com a goma guar que apresentaram valores bem próximos da neutralidade, cerca de $|1,6 \pm 0,2 \text{ mV}|$ e $|0,3 \pm 0,5 \text{ mV}|$ nas concentrações 0,2 e 0,4% respectivamente, todas produzidas pela mesma metodologia (Figura 18a). As emulsões produzidas por emulsificação espontânea apresentaram valores de potencial ζ baixos de cerca de $|0,6 \pm 0,4 \text{ mV}|$ (Figura 18b). Todos os valores obtidos demonstram instabilidade do sistema considerando que valores de potencial ζ abaixo de $|10\text{mV}|$ não são estáveis.

Figura 18 - Potencial ζ das emulsões obtidas por homogeneização mecânica (a) e emulsificação espontânea (b) em função do tempo de armazenamento (dias). Escala: $|0,0 \text{ a } 10,0 \text{ mV}|$.



Legenda: Estatística referente ao dia 70 (a)**** $p < 0,0001$ (Ah0,2 vs. GGh0,2; Ah0,2 vs. Ah0,4; Ah0,2 vs. GGh0,4).

O potencial ζ é a medida da carga elétrica superficial das gotículas em uma emulsão, que consiste no potencial de superfície efetivo de uma partícula suspensa, considerando que a carga líquida pode ser alterada por espécies carregadas que adsorvem à superfície (McClements, 2015). O potencial ζ é um bom indicador de estabilidade, pois emulsões mais estáveis apresentam forças dominantes repulsivas

(Fang *et al.* 2022). Em emulsões com potencial ζ próximos a 0 mV, as forças atrativas podem levar à floculação e coalescência. Quanto maior o potencial ζ , mais forte a repulsão entre as partículas. Soluções de elevado potencial ζ (negativo ou positivo) são eletricamente estáveis, sendo valores entre 0 e ± 5 muito instáveis e apenas valores ± 30 começam a apresentar estabilidade (Hanaor *et al.*, 2012; Greenwood; Kendall, 1999).

Observa-se que nenhuma das emulsões produzidas foram satisfatórias quanto ao potencial ζ ao longo de todo o experimento. Em geral, apesar de pequenas variações, ao longo dos 70 dias o potencial ζ manteve-se praticamente inalterado em todas as emulsões produzidas. O mesmo padrão foi obtido por Melo (2022) durante 28 dias de armazenamento.

Porto e Cristianni (2014) utilizando a goma do cajueiro obtiveram valores positivos de potencial ζ , porém igualmente baixos (1,27 mV), enquanto suas emulsões produzidas com a goma arábica obtiveram potencial ζ mais próximo da estabilidade (-23,35 mV). Sayyar e Jafarizadeh-Malmiri (2018) também obtiveram potencial ζ baixo, de -12,6 mV em nanodispersões de curcumina. Por outro lado, Melo (2022) obteve emulsões com o arabinogalactano cujo potencial ζ manteve-se com estabilidade moderada ($|10 > \zeta < 30|$ mV), superiores ao encontrado nesse trabalho para o mesmo polissacarídeo. Outros trabalhos utilizando diferentes polissacarídeos apresentam potencial ζ satisfatório, como Liu *et al.* (2019) em emulsões produzidas com polissacarídeos extraídos de inhame (*D. opposita Thunb*) que obtiveram potencial ζ negativo na faixa de $|79,0 > \zeta > 91,0|$ com excelente estabilidade. Fernandes *et al.* (2021) obtiveram formulações com a goma guar cujo potencial ζ atingiu -43 mV e que se manteve ao longo de 21 dias.

Para a metodologia de emulsificação espontânea, as concentrações dos polissacarídeos não influenciaram nessa análise. Quando à metodologia de homogeneização mecânica, observa-se que apenas a menor concentração polissacarídica gerou potencial ζ superior aos demais. Melo (2022) encontrou maiores valores absolutos de potencial ζ para emulsões de arabinogalactano e goma arábica com maiores concentrações (8% [p/p]). Além da concentração polissacarídica, o caráter ionizável ou das moléculas adsorvidas, o pH e o ponto

isolétrico das emulsões e seus componentes podem ser responsáveis pela variação entre os resultados aqui obtidos e os descritos na literatura.

5.2.3.1. Potencial ζ e pH

Muitas propriedades das emulsões são conferidas pela carga elétrica de suas gotículas, originada pela ionização do emulsificante na adsorção (Liu *et al.*, 2019). Em uma emulsão estabilizada por polissacarídeos, todas as gotículas possuem a mesma carga, e conseqüentemente são repelidas entre si (McClements, 2015) pelo aumento da repulsão eletrostática e aumento do potencial ζ (Liu *et al.*, 2019). O potencial ζ é influenciado pelo pH da solução, por exemplo, em uma solução de potencial ζ negativo, o aumento do pH aumenta a carga negativa, enquanto a redução do pH é capaz de neutralizar ou ainda acumular carga positiva. É denominado ponto isoelétrico o valor de pH da solução em que a carga líquida das partículas é zero, ou seja, neutra, considerada extremamente instável (Soares, 2015).

Abreu *et al.* (2012) formularam nanopartículas a base de arabinogalactano de *A. occidentale* e quitosana que apresentaram potencial ζ positivo de |4 a 49 mV|, que foi justificado pela grande quantidade de grupos amino protonados da quitosana, em comparação a baixa concentração de grupos carboxílicos dos ácidos urônicos do arabinogalactano (5,0 %). Porto e Cristianni (2014) também encontraram valores de potencial ζ baixos das emulsões produzidas com arabinogalactano, e relacionou este fenômeno com o baixo pH das emulsões produzidas (3,6), próximo ao ponto isoelétrico do polissacarídeo (pI 3,2, (Porto; Cristianni, 2014). O arabinogalactano é um polieletrólito fraco com um esqueleto carregado negativamente (Ribeiro *et al.*, 2016) que atua como poliânion em pH > 4,0, devido a presença de ácido glucurônico cujo pKa é 3,5 (Nayak *et al.*, 2019; Paula *et al.*, 2011).

A Tabela 4, apresenta as medições de pH de todas as amostras e reagentes realizadas no dia 0. Observa-se que as emulsões produzidas com o arabinogalactano, Ae 0,2 e Ae 0,4, de baixo potencial ζ (Figura 18b), apresentaram valores de 3,3 e 3,4 respectivamente de pH, valores próximos ao ponto isoelétrico do polissacarídeo. Ah 0,2, que apresentou valores mais altos de potencial ζ (Figura 18a)

teve o pH aferido em 4,7 (Tabela 4), mais distantes do ponto isoelétrico. Ah 0,4 teve pH aferido em 3,6 e apresentou potencial ζ próximo de Ah 0,2 no início ($-7,9 \pm 0,1$ mV), mas reduz para cerca de $-1,4 \pm 0,1$ mV, aproximando-se às demais de pH semelhante.

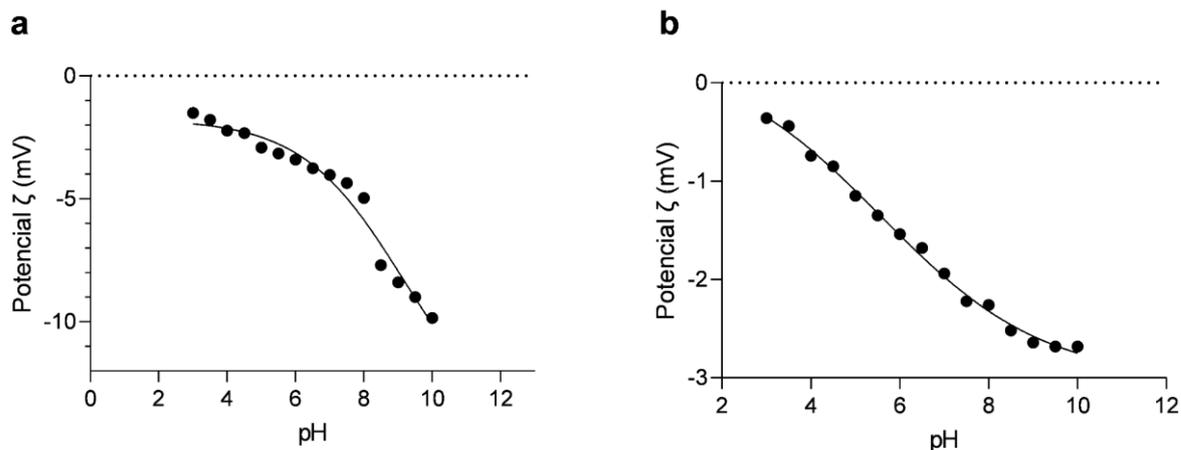
Tabela 3 - pH das emulsões

Amostra	pH
Ah 0,2	4,7 \pm 0,1
GGh 0,2	7,3 \pm 0,2
Ah 0,4	3,6 \pm 0,1
GGh 0,4	5,7 \pm 0,3
Ae 0,2	3,3 \pm 0,2
GGe 0,2	3,5 \pm 0,1
Ae 0,4	3,4 \pm 0,1
GGe 0,4	3,5 \pm 0,2
Óleo de soja	4,3 \pm 0,2
Glicerol	2,4 \pm 0,0
Tween 80	7,0 \pm 0,1

De acordo com a Figura 19a, em pH baixo, o potencial ζ do arabinogalactano é próximo ao zero, e aumenta para valores mais negativos, conforme aumenta o pH da solução. A goma guar segue o mesmo padrão (Figura 19b) porém o aumento do potencial Zeta é menos pronunciado. Soares *et al* (2014) observaram que soluções de arabinogalactano apresentaram baixo valor de pontencial ζ sob pH de 3,0 a 12,0 e justificou seus achados na baixa concentração de grupos carboxila (6,3 %) presentes no polissacarídeo que foi insuficiente para tornar a carga líquida negativa.

O arabinogalactano confere carga negativa às gotículas ao sofrer adsorção, pois as emulsões preparadas contendo apenas o polissacarídeo como emulsificante apresentaram maiores valores de potencial ζ (Ah 0,2). A goma guar é um polissacarídeo não iônico e, portanto, sua emulsão (GGh 0,2) apresentou pH neutro (Tabela 4).

Figura 19 - Relação entre potencial ζ do arabinogalactano (a) e goma guar (b), em função do pH das soluções a 0,4 % (p/v). (a) $y = -0,1787x^2 + 1,1574x - 3,7677$; $R^2 = 0,97$. (b) $y = 0,019x^2 - 0,6139x + 1,4287$; $R^2 = 0,99$.



Moléculas surfactantes podem ligar-se à biopolímeros constituintes da emulsão, principalmente devido a interações eletrostáticas e hidrofóbicas, formando um complexo surfactante-biopolímero com diferentes características funcionais, incluindo a estabilidade (McClements, 2015). Zhao *et al.* (2010), observaram que variações no nível de surfactante e co-surfactante influenciaram nos potenciais ζ próximos à neutralidade de suas emulsões, corroborando com os achados deste trabalho.

A presença ou interação dos surfactantes utilizados com o polissacarídeo, tanto a goma guar quanto o arabinogalactano, no método de emulsificação espontânea, pode ser o fator responsável por reduzir o potencial Zeta das emulsões (Zhao *et al.* 2010; McClements, 2015). Observa-se também que o pH foi um fator que influenciou negativamente as emulsões preparadas com o arabinogalactano. Ajustar o pH das emulsões poderia aumentar a carga de superfície, e consequentemente aumentar a estabilidade das emulsões.

6. CONCLUSÕES

O arabinogalactano extraído do exsudato de *Anacardium occidentale* apresentou atividade emulsificante superior a goma guar, comercialmente utilizada. As concentrações de carboidratos totais do arabinogalactano ($62,7 \pm 0,05$) e da goma

guar (74,42%±0,02) apresentaram valores aproximados. A técnica de emulsificação espontânea produziu emulsões mais estáveis em relação àquelas preparadas por homogeneização mecânica. A concentração dos polissacarídeos influenciou na qualidade das emulsões, sendo que, maiores concentrações, 0,4 %(p/v), produziram emulsões com menores tamanhos de gotícula e PDI. Analisando-se todos os parâmetros, considera-se que a melhor formulação foi Ae 0,4. O aumento no pH das soluções polissacarídicas influenciou positivamente no potencial ζ . Considera-se, portanto, que o arabinogalactano extraído da goma de *Anacardium occidentale* apresenta potencial emulsificante, e um possível substituto às gomas comerciais em preparações industriais. No entanto, a aplicação de emulsões ultrafinas utilizando o arabinogalactano depende de estudos posteriores de estabilidade e viabilidade do composto bioativo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. O. M. S.; OLIVEIRA, E. F.; PAULA, H. C.; DE PAULA, R. C. Chitosan/cashew gum nanogels for essential oil encapsulation. **Carbohydrate polymers**, v. 89, n. 4, p. 1277-1282, 2012.

ADOU, M., TETCHI, F.A., GBANE, M., NIABA, P.V.K., AMANI, N.G. Minerals composition of the cashew apple juice (*Anacardium Occidentale* L.) of Yamoussoukro, Cote d'Ivoire. **Pak J. Nutr.** v.10, n.12, p.1109-1114. 2011.

ALLEN, L. V.; ANSEL, H. C. Ansel's Pharmaceutical Dosage forms and drug delivery systems. **Lippincott Williams e Wilkins**. 8 ed, 2005.

ANDERSON, D. M. W.; BELL, P. C. Structural analysis of the gum polysaccharide from *Anacardium occidentale*. **Analytica Chimica Acta**, v. 79, p. 185-197, 1975.

ANDERSON, D.M.W.; BELL, P.C.; MILLAR, J.R.A. Composition of gum exudates from *Anacardium occidentale*. **Phytochemistry**, v. 13, p.2193-2193, 1974.

ANDRADE, K. C. S.; DE CARVALHO, C. W.P., TAKEITTI, C. Y. Goma de cajueiro (*Anacardium occidentale*): Avaliação das modificações químicas e físicas por extrusão termoplástica. **Polímero**, São Carlos, v. 23, n. 5, p. 667-671, Out. 2013.

ANGARDI, V.; ETTEHADI, A.; YÜCEL, Ö. Critical Review of Emulsion Stability and Characterization Techniques in Oil Processing. **J. Energy Resour. Technol.**, v. 144, n. 4, 040801, 2022.

ARAÚJO, J. F. A. **Caracterização do potencial antimicrobiano da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*)**. Monografia (Bacharelado em Farmácia) – Universidade Federal de Campina Grande, Cuité. 2017.

ARAUJO, T. D. S., et al. Nanoemulsion of cashew gum and clove essential oil (*Ocimum gratissimum Linn*) potentiating antioxidant and antimicrobial activity. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 193, p. 100-108, 2021.

AULTON, M. E. Aulton's Pharmaceutics: The Design and Manufacture of Medicines **Churchill Livingstone**. 3 ed. 384:390-405, 2007.

AZEVEDO, A. M.; PRAZERES, D. M.; CABRAL, J. M.; FONSECA, L. P. Stability of free and immobilized peroxidase in aqueous–organic solvents mixtures. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 15, n. 4-6, p. 147-153, 2001.

BARCLAY, T. G.; DAY, C. M.; PETROVSKY, N.; GARG, S. Review of polysaccharide particle-based functional drug delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 221, p. 94-112, 2019.

BARROS, A. B., MOURA, A. F., SILVA, D. A., OLIVEIRA, T. M., BARRETO, F. S., RIBEIRO, W. L. C., MARINHO FILHO, J. D. B. Evaluation of antitumor potential of cashew gum extracted from *Anacardium occidentale Linn*. **International journal of biological macromolecules**, v. 154, p. 319-328, 2020.

BARROS, L. D. M.; CAVALCANTI, J. J. V.; PAIVA, J. R. D.; CRISÓSTOMO, J. R.; CORRÊA, M. P. F.; LIMA, A.C. Seleção de clones de cajueiro anão para o plantio comercial no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.11, p. 2197-2204, 2012.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248–254, 1976.

BRAINER, M. S. D. C. P. **Cajucultura**. Caderno Setorial Etene, Fortaleza: BNB, ano 7, n.230, jun. 2022.

BRASILEIRO, J. S. L. **Microencapsulação dos compostos bioativos: inovação em diferentes áreas**. 2011. 96f. Dissertação (Mestrado Integrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Fernando Pessoa Faculdade de Ciências da Saúde, Porto, 2012.

Brazil Gum Arabic imports by country in 2019. **WITS: World Integrated Trade Solution**, 2019. Disponível em <<https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/BRA/year/2019/tradeflow/Imports/partner/ALL/product/130120#>> Acesso em: 29, jun, 2023.

BRUMMER, Y.; CUI, W.; WANG, Q. Extraction, purification and physicochemical characterization of fenugreek gum. **Food hydrocolloids**, v. 17, n. 3, p. 229-236, 2003.

CAI, X.; LI, C.; TANG, Q.; ZHEN, B.; XIE, X.; ZHU, W.; ZHOU, C.; WANG, L. Assembling kaolinite nanotube at water/oil interface for enhancing Pickering emulsion stability. **Applied Clay Science**, v. 172, n. 2019, p. 115–122, 2019.

CALICETI, P.; SALMASO, S.; BERSANI, S. Polysaccharide-based anticancer prodrugs. In: Macromolecular anticancer therapeutics. **Springer New York**, p. 163-219, 2010.

CAMPOS, D. A. RIBEIRO, A. C.; COSTA, E. M.; FERNANDES, J. C.; TAVARIA, F. K.; ARARUNA, F. B.; PINTADO, M. M. Study of antimicrobial activity and atomic force microscopy imaging of the action mechanism of cashew tree gum. **Carbohydrate polymers**, v. 90, n. 1, p. 270-274, 2012.

CAMPOS, J. L. A.; ALBUQUERQUE, U. P. Indicators of conservation priorities for medicinal plants from seasonal dry forests of northeastern Brazil. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 106993, 2021.

CARDIAL, M. R. L. **Nanopartículas auto-organizadas de goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) hidrofobizada para o desenvolvimento de**

sistemas de carregamento de fármacos. 118 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

CARDIAL, M. R. L.; PAULA, H. C.; DA SILVA, R. B. C.; DA SILVA BARROS, J. F., RICHTER, A. R.; SOMBRA, F. M.; DE PAULA, R. C. et al. Pickering emulsions stabilized with cashew gum nanoparticles as indomethacin carrier. **International journal of biological macromolecules**, v. 132, p. 534-540, 2019.

CHANAMAI, R.; MCCLEMENTS, D. J. Comparison of gum arabic, modified starch, and whey protein isolate as emulsifiers: influence of pH, CaCl₂ and temperature. **Journal of food science**, v. 67, n. 1, p. 120-125, 2002.

CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradable polymers. **Progress in polymer science**, v. 23, n. 7, p. 1273-1335, 1998.

CHEN, Y.; NARAYAN, S.; DUTCHER, C. S. Phase-Dependent Surfactant Transport on the Microscale: Interfacial Tension and Droplet Coalescence. **Langmuir**, v. 36, n. 49, p. 14904–14923, 2020.

CHEVALIER, Y.; BOLZINGER, M. A. Emulsions stabilized with solid nanoparticles: Pickering emulsions. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 439, p. 23-34, 2013.

CHIVERO, P.; GOHTANI, S.; YOSHII, H.; NAKAMURA, A. Effect of xanthan and guar gums on the formation and stability of soy soluble polysaccharide oil-in-water emulsions. **Food Research International**, v. 70, p. 7–14, 2015.

COELHO, A. M. S. P.; SILVA, G. A. D.; VIEIRA, O. M. C.; CHAVASCO, J. K. Atividade antimicrobiana de *Bixa orellana* L.(Urucum). **Lecta-USF**, v. 21, n. 1/2, p. 47-54, 2003.

COX, S.; SANDALL, A.; SMITH, L.; ROSSI, M.; WHELAN, K. Food additive emulsifiers: a review of their role in foods, legislation and classifications, presence in food supply, dietary exposure, and safety assessment. **Nutrition Reviews**, v. 79, n. 6, p. 726–741, 2021.

CUNHA, M. C.; SILVA, R. A. O.; MARQUES, L. G. A.; DE FREITAS, R. M.; DOS SANTOS, M. D. S. F.; DA SILVA FILHO, E. C.; SANTOS, M. R. D. M. C. Prospecção tecnológica: aplicação da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*) em nanotecnologia. **Anais do Simpósio Internacional de Inovação Tecnológica-SIMTEC**, v. 3, n. 4, p. 055- 069, 2013.

CUNHA, P. L. R.; DE PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A. Polissacarídeos da biodiversidade brasileira: uma oportunidade de transformar conhecimento em valor econômico. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 649-660, 2009.

CUNHA, P. L., CASTRO, R. R., ROCHA, F. A., De PAULA, R. C., e FEITOSA, J. P.. Low viscosity hydrogel of guar gum: Preparation and physicochemical characterization. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 37, n. 1-2, p. 99-104, 2005.

DA SILVA, D. A.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, H. C. B.; PAULA, R. C. M. Synthesis and characterization of cashew gum/acrylic acid nanoparticles. **Materials Science e Engineering C: Biomimetic and Supramolecular Systems**, v. 29, n. 2, p. 437-441, 2009.

DANTAS JÚNIOR, M. A., **Obtenção da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e caracterização das propriedades farmacotécnicas de fluxo**. Monografia (Curso de Graduação em Farmácia) – Centro de Educação e Saúde / UFCG, 2015.

DANTAS, D. I. M. **Desenvolvimento farmacotécnico e caracterização de gel a base de extrato de *Anacardium occidentale* L.** f. 62, Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Farmácia) - Universidade Federal de Campina Grande. Cuité, 2018.

DARAMOLA, D. Assessment of some aspects of phyto-nutrients of cashew apple juice of domestic origin in Nigeria. **Afr. J. Food Sci.** v.7, n.6, p.107-112. 2013.

DE BARROS FERNANDES, R. V.; BOTREL, D. A.; SILVA, E. K.; BORGES, S. V.; DE OLIVEIRA, C. R.; YOSHIDA, M. I.; DE PAULA, R. C. M. Cashew gum and inulin: New alternative for ginger essential oil microencapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v. 153, p. 133-142, 2016.

DE PAULA, R. C. M.; HEATLEY, F.; BUDD, P. M. Characterization of *Anacardium occidentale* exudate polysaccharide. **Polymer International**, v. 45, n. 1, p. 27-35, 1998.

DE PAULA, R. C. M.; RODRIGUES, J. F. Composition and rheological properties of cashew tree gum, the exudate polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. **Carbohydrate polymers**, v. 26, n. 3, p. 177-181, 1995.

DEBON, S.J. J; TESTER, R F. In vitro binding of calcium, iron and zinc by non-starch polysaccharides. **Food Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 401-410, 2001.

DENG, Z.; PAN, Y.; CHEN, W.; CHEN, W.; YUN, Y.; ZHONG, Q.; ... CHEN, H. Effects of cultivar and growth region on the structural, emulsifying and rheological characteristic of mango peel pectin. **Food Hydrocolloids**, 103, 105707, 2020.

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. **Food hydrocolloids**, v. 17, n. 1, p. 25-39, 2003.

DJELVEH G.; GROS, J. B. Estimation of physical properties of foamed foods using energy dissipation in scraped-surface heat exchangers. **J Food Eng** 26:45–56, 1995

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, n. 3, p. 350–356, 1956.

FANG, Y.; ZHANG, H.; NISHINARI, K. Food Hydrocolloids: Functionalities and Applications. 1 ed. **Springer Singapore**, 2022. 524 p.

FENNEMA, O. R. Food chemistry. 3. ed. v. 76. Nova York: **CRC Press**, 1996.

FERNANDES, M.F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L.P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. *J. Arid Environ.*; v. 174, 2020.

FERNANDES, R. N.; SIMIQUELI, A. A.; VIDIGAL, M. C. T. R.; MINIM, V. P. R.; MINIM, L. A. Kinetic stability of the oil-in-water emulsions and dynamic interfacial properties of mixtures of sucrose esters and polysaccharides. **Food Chemistry**, v. 357, p. 129693, 2021.

Food emulsifiers by type (Mono and di-glycerides and their derivatives, Lecithin, Sorbitan esters, Polyglycerol esters, and Stearoyl lactylates), Source (Plant, Animal), function, application and region - Global forecast to 2028. **Markets and Markets: Food emulsifiers market, 2023.** Disponível em <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/food-emulsifiers-market-972.html>>. Acesso em 10, ago, 2023.

FORATO, L. A. DE BRITO, D.; DE RIZZO, J.; GASTALDI, T. A.; ASSIS, O. B. Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 5, p. 68-74, 2015.

GARG, S. S.; GUPTA, J. Guar gum-based nanoformulations: Implications for improving drug delivery. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2023.

GARNA, H.; EMAGA, T. H.; ROBERT, C.; PAQUOT, M. New method for the purification of electrically charged polyssacharides. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 5, p. 1219-1226, 2011.

GILBERT, R. G.; HESS, M.; JENKINS, A. D.; JONES, R. G.; KRATOCHVIL, P.; STEPTO, R. F. T. Dispersity in polymer science. **Pure Applied Chemistry**, v. 81, n. 2, p. 351-353, 2009.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, M. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.

GOMEZ-ESTACA, J., COMUNIAN, T. A., MONTERO, P., FERRO-FURTADO, R., FAVARO TRINDADE, C. S. Encapsulation of an astaxanthin-containing lipid extract from shrimp waste by complex coacervation using a novel gelatin-cashew gum complex. **Food Hydrocolloids**, 61, 155–162. 2016.

GONÇALVES, J. L. S. LOPEZ, R. C.; OLIVEIRA, D. B.; COSTA, S. S.; MIRANDA, M. M. F. S.; ROMANOS, M. T. V.; WIGG, M. D. In vitro anti-rotavirus activity of some medicinal plants used in Brazil against diarrhea. **Journal of ethnopharmacology**, v. 99, n. 3, p. 403-407, 2005.

GOWTHAMARAJAN, K.; KUMAR, G. K. P.; GAIKWAD, N. B.; SURESH, B. Preliminary study of Anacardium occidentale gum as binder in formulation of paracetamol tablets. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 506-511, 2011.

GREENWOOD, R.; KENDALL, K. Selection of Suitable Dispersants for Aqueous Suspensions of Zirconia and Titania Powders using Acoustophoresis. **Journal of the European Ceramic Society**, 19, 479–488, 1999.

HANAOR, D.A.H., MICHELAZZI, M., LEONELLI, C. e SORRELL, C.C. The effects of carboxylic acids on the aqueous dispersion and electrophoretic deposition of ZrO₂. **Journal of the European Ceramic Society**, 32, 235–244, 2012.

HO, T. M.; RAZZAGHI, A.; RAMACHANDRA, A.; MIKKONEN, K. S. Emulsion characterization via microfluidic devices: A review on interfacial tension and stability to coalescence. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 299, 2022.

HONORATO, T. L.; RODRIGUES, S. Dextranucrase stability in cashew apple juice. **Food Bioprocess Technol.** v. 3, p. 105-110. 2010.

HUNTER, R. J. **Applications of the zeta potential**. Zeta Potential in Colloid Science, p. 219-257, 1981.

HUNTER, R.J. Zeta Potential in Colloid Science - Principles and Applications. **Academic Press**, London, 1981.

HUSSEIN, M. A.; MOHAMMED, A. A.; ATIYA, M. A. Application of emulsion and Pickering emulsion liquid membrane technique for wastewater treatment: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 36184-36204, 2019.

IMESON, A. **Food stabilisers, thickeners and gelling agents**. John Wiley & Sons, 2011.

ISMAIL, I.; KAZEMZADEH, Y.; SHARIFI, M.; RIAZI, M.; MALAYERI, M. R.; CORTÉS, F. Formation and stability of W/O emulsions in presence of asphaltene at reservoir thermodynamic conditions. **Journal of Molecular Liquids**, v. 299, p. 112-125, 2020.

JAFARIZADEH-MALMIRI, H.; ANARJAN, N.; BERENJIAN, A. Developing three-component ginger-cinnamon-cardamom composite essential oil nanoemulsion as natural food preservatives. **Environmental Research**, v. 204, p. 112133, 2022.

JINDAL, M.; KUMAR, V.; RANA, V.; TIWARY, A. K. Exploring potential new gum source *Aegle marmelos* for food and pharmaceuticals: Physical, chemical and functional performance. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 312–318, 2013.

KEDZIOR, S. A.; GABRIEL, V. A.; DUBÉ, M. A.; CRANSTON, E. D. Nanocellulose in Emulsions and Heterogeneous Water-Based Polymer Systems: A Review. **Advanced Materials**. v. 33, n. 28, 2021.

KENNEDY, J.F., WHITE, C. A. Bioactive carbohydrates: in chemistry, biochemistry and biology. **Ellis Horwood Ltd.**, 1983.

KHEDR, A.; STRIOLO, A. Quantification of Ostwald ripening in emulsions via coarse-grained simulations. **Journal of chemical theory and computation**, v. 15, n. 9, p. 5058-5068, 2019.

KIM, S.; BISWAS, A.; BODDU, V.; HWANG, H. S.; ADKINS, J. Solubilization of cashew gum from *Anacardium occidentale* in aqueous medium. **Carbohydrate polymers**, v. 199, p. 205-209, 2018.

KOYYADA, A.; ORSU, P. Natural gum polysaccharides as efficient tissue engineering and drug delivery biopolymers. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 63, p. 102431, 2021.

KUMAR, A.; MOIN, A.; AHMED, A.; G SHIVAKUMAR, H. Cashew gum a versatile hydrophilic polymer: a review. **Current Drug Therapy**, v. 7, n. 1, p. 2-12, 2012.

KUMAR, A.; THAKUR, A.; PANESAR, P. S. A review on emulsion liquid membrane (ELM) for the treatment of various industrial effluent streams. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 18, p. 153-182, 2019.

LANDIM, E. M. C.; **Obtenção, caracterização e avaliação da estabilidade de pigmentos naturais microencapsulados**. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Tecnologia de Alimentos, UFC, Ceará, p. 89, 2008.

LIM, T. K. *Anacardium occidentale*. In: Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: v 1, Fruits. **Dordrecht: Springer Netherlands**, 2011. p. 45-68.

LIMA, A. C.; SANTOS, R. A.; ALMEIDA, F. A. G.; BANDEIRA, C. T. Estimulantes químicos na extração da goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 409-415, 2001.

LIMA, R. E.; MAIA, L. K.; LIMA, J. Produção de goma a partir do cajueiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

LIU, X.-X.; YAN, Y.-Y.; LIU, H.-M.; WANG, X.-D.; QIN, G.-Y. Emulsifying and structural properties of polysaccharides extracted from Chinese yam by an enzyme assisted method. **LWT**, v. 111, p. 242–251, 2019.

LOPES, L.; MILAS, M.; RINAUDO, M. Influence of the method of purification on some solution properties of welan gum. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 16, n. 5, p. 253-258, 1994.

LOWOR, S. T.; AGYENTE-BADU, C. K. Mineral and proximate composition of cashew apple (*Anacardium Occidentale* L.) juice from northern savannah, forest and coastal savannah regions in Ghana. **Am. J. Food Technol.** v.4, p. 154-161, 2009.

LOYEAU, P. A.; SPOTTI, M. J.; VINDEROLA, G.; CARRARA, C. R.. Encapsulation of potential probiotic and canola oil through emulsification and ionotropic gelation, using protein/polysaccharides Maillard conjugates as emulsifiers. **Lwt**, v. 150, p. 111980, 2021.

LU, W.; LI, X.; FANG, Y. Introduction to Food Hydrocolloids. In: FANG, Y. *et al.* **Food Hydrocolloids: Functionalities and Applications**. 1 ed. Springer Singapore, 2022. 524 p 1-28.

LU, Y.; MAO, L.; HOU, Z.; MIAO, S.; GAO, Y. Development of emulsion gels for the delivery of functional food ingredients: From structure to functionality. **Food Engineering Reviews**, v. 11, p. 245-258, 2019.

MACIEL, J. S. SILVA, D. A.; PAULA, H. C.; DE PAULA, R. C. M. Chitosan/carboxymethyl cashew gum polyelectrolyte complex: synthesis and thermal stability. **European Polymer Journal**, v. 41, n. 11, p. 2726-2733, 2005.

MARKETS AND MARKETS. Food Emulsifiers Market: Food Emulsifiers Market by type, source, function, application and region – Gvlobal forecast to 2028. (2023). Disponível em: <<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/food-emulsifiers-market-972.html>>. Acesso em: 14 de Ago. 2023.

MARQUES, M. R.; XAVIER-FILHO, J. Enzymatic and inhibitory activities of cashew tree gum exudates. **Phytochemistry**, v. 30, n. 5, p. 1431-1433, 1991.

MARQUES, M.; XAVIER-FILHO, J. Enzymatic and inhibitory activities of cashew tree gum exudate. **Phytochemistry**, v. 30, n. 5, p. 1431-1433, 1991.

MAZZETO, S. E.; LOMONACO, D.; MELE, G. Óleo de castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. **Revista Química Nova**, São Paulo-SP, v. 32, n. 3, p. 1-10, 2009.

McCLEMENTS, D. J. Food emulsions: principles, practices, and techniques. Boca Raton: **CRC press**, 2015.

McCLENDON, J. H., NOLAN, W. G., WENZLER, H. F. The role of the endosperm in the germination of legumes: Galactomannan, nitrogen and phosphorus changes in the germination of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*; leguminosae). **American Journal of Botany**, 63(6), 790–797. 1976.

MELO, A. F. M.; SANTOS, E. J. V.; SOUZA, L. F. C.; CARVALHO, A. A. T.; PEREIRA, M. S. V.; HIGINO, J. S. Atividade antimicrobiana in vitro do extrato de *Anacardium occidentale* L. sobre espécies de *Streptococcus*. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 16, n. 2, p. 202-205, 2006.

MELO, E. C. C. D. **Caracterização reológica e avaliação de propriedades funcionais de diferentes polissacarídeos de plantas do Nordeste**. 2022. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

MENESTRINA, J. M; IACOMINI, M.; JONES, C.; GORIN, P. A. Similarity of monosaccharide, oligosaccharide and polysaccharide structures in gum exudate of *Anacardium occidentale*. **Phytochemistry**, v. 47, n. 5, p. 715-721, 1998.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. **Diário Oficial da União, Poder Executivo**, de 28 out. 1997

MONTEIRO, F. M. F.; DE MEDEIROS E SILVA, G. M.; DA SILVA, J. B. R.; PORTO, C. S.; DE CARVALHO, L. B.; DE LIMA FILHO, J. L.; ... PORTO, A. L. F. Immobilization of trypsin on polysaccharide film from *Anacardium occidentale* L. and its application as cutaneous dressing. **Process Biochemistry**, v. 42, n. 5, p. 884–888, 2007.

MOTHÉ, C. G.; RAO, M. A. Rheological behavior of aqueous dispersions of cashew gum and gum arabic: effect of concentration and blending. **Food hydrocolloids**, v. 13, n. 6, p. 501-506, 1999.

MOURA NETO, E. **Desenvolvimento de Novos Materiais à base de Goma do Cajueiro (*Anacardium occidentale*): Derivados e Microesferas com Gelatina**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MOURA, R. **Produção de castanha do caju cresce 33% em 2022**. Embrapa, 26, jan, 2023. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/78004497/producao-de-castanha-do-caju-cresce-33-em-2022#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20nacional%20de%20castanha,para%20o%20setor%20desde%202018.>> Acesso em: 28, jun, 2023.

NAIR, G.M., VENKAI AH, K.; SHAH, J.J. Ultrastructure of gumresin ducts in cashew (*Anacardium occidentale*). **Annals of Botany**, v. 51, n. 3, p. 297–300, 1983

NAYAK, A. K.; ANSARI, M. T.; SAMI, F.; BERA, H.; HASNAIN, M. S. Cashew gum in drug delivery applications. In: Natural polysaccharides in drug delivery and biomedical applications. **Academic Press**, 2019. p. 263-283.

NELSON, D. L. **Princípios de bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

NELSON, D.L. COX, M. M. Lehninger, Principles of Biochemistry. 5 ed. W.H. **Freeman and Company**, New York, 2008.

NETO, E. D., MACIEL, J. D., CUNHA, P. L. R., DE PAULA, R. C. M., FEITOSA, J. P. A. Preparation and characterization of a chemically sulfated cashew gum polysaccharide. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 22, 1953–1960, 2011.

NOGUEIRA LIMA, R. D. S. RABELO LIMA, J.; RIBEIRO DE SALIS, C.; DE AZEVEDO MOREIRA, R. Cashew-tree (*Anacardium occidentale* L.) exudate gum: a novel bioligand tool. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 45-53, 2002.

OLIVEIRA, E. F. D.; PAULA, H. C. B.; DE PAULA, R. C. M. Alginate/cashew gum nanoparticles for essential oil encapsulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 113, p. 146-151, 2014.

PAULA, H. C. B.; SOMBRA, F. M.; DE FREITAS CAVALCANTE, R.; ABREU, F. O. DE PAULA, R. C. Preparation and characterization of chitosan/cashew gum beads loaded with *Lippia sidoides* essential oil. **Materials Science and Engineering: C**, v. 31, n. 2, p. 173-178, 2011.

PAULA, H. C. B.; DE PAULA, R. C. M.; BEZERRA, S. K. F. Swelling and release kinetics of larvicide-containing chitosan/cashew gum beads. **Journal of applied polymer science**, v. 102, n. 1, p. 395-400, 2006.

PINTO, A. P. D. S.; HOLANDA E SILVA, K. G. D.; MANSUR, C. R. E. Evaluation of the application of cashew gum as an excipient to produce tablets. **Polímeros**, v. 28, p. 302-308, 2018.

PINTO, I. F. **Avaliação das atividades antimicrobiana, citotóxica e genotóxica da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale* Linn)**. 2015. p. 63. Monografia (Graduação em Farmácia) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2015.

PIRES, A. L. R.; BIERHALZ, A. C. K.; MORAES, Â. M. Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. **Química Nova**, São Paulo, v. 38, n. 7, aug. 2015.

PIRES, N. D. R. **Nanopartículas fluorescentes de carbono a partir da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*)**. 2019. 97 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

PORTO, B. C.; CRISTIANINI, M. Evaluation of cashew tree gum (*Anacardium occidentale* L.) emulsifying properties. **LWT-food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1325-1331, 2014.

RANA, V.; RAI, P.; TIWARI, A. K.; SINGH, R. S.; KENNEDY, J. F.; KNILL, C. J. Modified Gums: Approaches and applications in drug delivery. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 3, p. 1031-1047, 2011.

RIBEIRO, A. J. DE SOUZA, F. R. L.; BEZERRA, J. M.; OLIVEIRA, C.; NADVORNY, D.; SOARES, M. F. D. L. R.; SOBRINHO, J. L. S. Gums' based delivery systems: Review on cashew gum and its derivatives. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 188-200, 2016.

RICO, R.; BULLÓ, M.; SALAS-SALVADÓ, J. Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 2, p. 329-338, 2015.

RODRIGUES, J. F.; PAULA, R. C. M.; COSTA, S. M. O. Métodos de isolamento de gomas naturais: comparação através da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). **Polímeros Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 3, n. 1, p. 31-36, Jan. 1993.

RODRIGUES, R. A. F.; GROSSO, C. R. F. Cashew gum microencapsulation protects the aroma of coffee extracts. **Journal of microencapsulation**, v. 25, n. 1, p. 13-20, 2008.

SANTOS, G. M. R. **Ação terapêutica da própolis e caju (*Anacardium occidentale* L.) Em lesões cutâneas induzidas em ratos wistar**. 2019. p.36. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019

SARUBBO, L. A.; CAMPOS-TAKAKI, G. M.; FIGUEIREDO, A. L. P.; TAMBOURGI, E. B.; DE OLIVEIRA L. A. A goma do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) como sistema inovador de extração líquido-líquido. **Exacta**, v.5, p.145-54, 2007.

SAYYAR, Z.; JAFARIZADEH-MALMIRI, H. Photocatalytic and antibacterial activities study of prepared self-cleaning nanostructure surfaces using synthesized and coated ZnO nanoparticles with Curcumin nanodispersion. **Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials**, v. 234, n. 5, p. 307-328, 2018.

SAYYAR, Z.; JAFARIZADEH-MALMIRI, H. Preparation, characterization and evaluation of curcumin nanodispersions using three different methods—novel subcritical water conditions, spontaneous emulsification and solvent displacement. **Zeitschrift für Physikalische Chemie**, v. 233, n. 10, p. 1485-1502, 2019.

SCHIRATO, G. V. MONTEIRO, F. M. F.; SILVA, F. D. O.; LIMA FILHO, J. L. D.; LEÃO, A. M. D. A. C; PORTO, A. L. F. O polissacarídeo do *Anacardium occidentale* L. na fase inflamatória do processo cicatricial de lesões cutâneas. **Ciência Rural**, v. 36, p. 149-154, 2006.

SILVA, D. A.; MACIEL, J. S.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, H. C. B.; DE PAULA, R. C. M. Polysaccharide-based nanoparticles formation by polyelectrolyte complexation of carboxymethylated cashew gum and chitosan. **Journal of Materials Science**, v. 45, p. 5605-5610, 2010.

SILVA, M. J. F. DA, RODRIGUES, A. M.; VIEIRA, I. R. S.; NEVES, G. DE A.; MENEZES, R. R.; GONÇALVES, E. DA G. DO R.; PIRES, M. C. C. Development and characterization of a babassu nut oil-based moisturizing cosmetic emulsion with a high sun protection factor. **RSC Advances**, v. 10, n. 44, p. 26268–26276, 2020

SILVA, T. M.; FERNANDES, K. F. **Caracterização de polissacarídeo extraído de goma de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) e sua aplicação para imobilização de Horseradish peroxidase (HRP)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2007.

SIRACUSA, R.; FUSCO, R.; PERITORE, A. F.; CORDARO, M.; D'AMICO, R.; GENOVESE, T.; IMPELLIZZERI, D. The Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of *Anacardium occidentale* L. Cashew Nuts in a Mouse Model of Colitis. **Nutrients**, v. 12, n. 3, p. 834, 2020.

SOARES, P. A. G. **Obtenção, caracterização e aplicação de hidrogéis a base de polissacarídeos**. 2015. p. 154. Tese (Doutorado em Bioquímica e Fisiologia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015

SOARES, P. A. G.; BOURBON, A. I.; VICENTE, A. A.; ANDRADE, C. A. S.; BARROS, W.; CORREIA, M. T. S.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. G. Development and characterization of hydrogels based on natural polysaccharides: Policaju and chitosan. **Materials Science and Engineering**, v. 42, p. 219–226, 2014.

SOLANS, C.; SOLÉ, II. Nano-emulsions: Formation by low-energy methods. **Current opinion in colloid & interface science**, v. 17, n. 5, p. 246-254, 2012.

SOUSA JÚNIOR, J. R. D. **Desenvolvimento e caracterização de micropartículas do polímero do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) pela técnica de reticulação polimérica interfacial com trimetafosfato de sódio**. Monografia (Bacharelado em farmácia) – Universidade Federal de Campina Grande, Cuité. 2017.

SOUZA, M. P. D. **Desenvolvimento e otimização de revestimentos comestíveis a base do polissacarídeo da goma do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) para melhorar a qualidade pós-colheita de frutas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2010.

SOUZA, M.; CERQUEIRA, M.; SOUZA, B.; TEIXEIRA, J.; PORTO, A.; VICENTE, A.; CARNEIRO-DA-CUNHA, M. Polysaccharide from *Anacardium occidentale* L. tree gum (Policaju) as a coating for Tommy Atkins mangoes. **Chemical Papers**, v. 64, n. 4, 2010.

STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A., eds.; Food Polysaccharides and their applications, 2nd ed., **CRC Press** : Florida, 2006, Cap. 13.

SUN, H.; MA, Y.; HUANG, X.; SONG, L.; GUO, H.; SUN, X.; QIAO, M. Stabilization of flaxseed oil nanoemulsions based on flaxseed gum: Effects of temperature, pH and NaCl on stability. **LWT**, v. 176, p. 114512, 2023.

TAN, C.-C.; KARIM, A. A.; UTHUMPORN, U.; GHAZALI, F. C. Effect extraction temperature on the emulsifying properties of gelatin from black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) skin. **Food Hydrocolloids**, v. 108, 106024, 2020.

TORQUATO, D. S.; FERREIRA, M. L.; SÁ, G. C.; BRITO, E. S.; PINTO, G. A. S.; AZEVEDO, E. H. F. Evaluation of antimicrobial activity of cashew tree gum. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 20, n. 5, p. 505-507, 2004.

UDOMRATI, S.; KHALID, N.; GOHTANI, S.; NAKAJIMA, M.; NEVES, M. A.; UEMURA, K.; KOBAYASHI, I. Effect of esterified oligosaccharides on the formation and stability of oil-in-water emulsions. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 44-50, 2016.

VELAYATI, A.; NOURI, A. Emulsification and emulsion flow in thermal recovery operations with a focus on SAGD operations: A critical review. **Fuel**, v. 267, p. 117-141, 2020.

WALSTRA P. Principles of emulsion formation. **Chemical Engineering Science** v. 48, n. 2, p. 333–349, 1993.

WALSTRA, P.; SMULDERS, P. E. A. Emulsion formation. **Modern aspects of emulsion science**, p. 56-99, 1998.

WANG, L.; YOUNG OH, J.; JAYAWARDENA, T. U.; JEON, Y.-J.; RYU, B. Antiinflammatory and anti-melanogenesis activities of sulfated polysaccharides isolated from *Hizikia fusiforme*: Short communication. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 142, p. 545-550, 2019.

WEI, Y.; XIE, Y.; CAI, Z.; GUO, Y.; WU, M.; WANG, P.; ZHANG, H. Interfacial and emulsion characterisation of chemically modified polysaccharides through a multiscale approach. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 580, p. 480-492, 2020.

WHITBY, C.; WANLESS, E. Controlling Pickering Emulsion Destabilisation: A Route to Fabricating New Materials by Phase Inversion. *Materials*, v. 9, n. 8, 2016.

WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O. Introduction to food hydrocolloids. In: *Handbook of hydrocolloids*. **Woodhead publishing**, 2021. p. 3-26.

XIN, X.; ZHANG, H.; XU, G.; TAN, Y.; ZHANG, J.; LV, X. Influence of CTAB and SDS on the Properties of Oil-in-water Nano-emulsion with Paraffin and Span 20/Tween 20. **Colloids Surf., A**, v. 418, p. 60–67, 2013

XU, L. QIU, Z.; GONG, H.; LIU, C.; LI, Y.; DONG, M. Effect of diutan microbial polysaccharide on the stability and rheological properties of O/W nanoemulsions formed with a blend of Span20-Tween20. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 39, n. 11, p. 1644-1654, 2018.

YAMASHITA, Y. SAKAMOTO, K.; LOCHHEAD, R Y.; MAIBAHC, H. I.. **Cosmetic Science and Technology**. Amsterdam: Elsevier, 2017.

YAMASSAKI, F. T.; LENZI, R. M.; CAMPESTRINI, L. H.; BOVO, F.; SEYFRIED, M.; SOLDERA-SILVA, A.; MAURER, J. B. B. Effect of the native polysaccharide of cashew-nut tree gum exudate on murine peritoneal macrophage modulatory activities. **Carbohydrate polymers**, v. 125, p. 241-248, 2015.

YANG, S. C.; BENITA, S. Enhanced absorption and drug targeting by positively charged submicron emulsions. **Drug development research**, v. 50, n. 3-4, p. 476-486, 2000.

YANG, S.; DING, F.; GAO, Z.; GUO, J.; CUI, J.; ZHANG, P. Fabrication of poly (ethylene glycol) capsules via emulsion templating method for targeted drug delivery. **Polymers**, v. 12, n. 5, p. 1124, 2020.

ZEMBYLA, M.; MURRAY, B. S.; SARKAR, A. Water-in-oil emulsions stabilized by surfactants, biopolymers and/or particles: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 104, p. 49-59, 2020.

ZHAO, Y.; WANG, C.; CHOW, A. H. L.; REN, K.; GONG, T.; ZHANG, Z.; ZHENG, Y. Self-nanoemulsifying drug delivery system (SNEDDS) for oral delivery of Zedoary essential oil: Formulation and bioavailability studies. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 383, n. 1-2, p. 170–177, 2010.

ZONG, A.; CAO, H.; WANG, F. Anticancer polysaccharides from natural resource: A review of recent resourch. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, n. 4, p. 1395-1410, 2012.