

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANDRESSA PRESA RICCI

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE SISTEMAS  
COLOIDAIS FORMADOS POR ÁGUA DE IMERSÃO DE GRÃO-DE-BICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2018

ANDRESSA PRESA RICCI

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE SISTEMAS  
COLOIDAIS FORMADOS POR ÁGUA DE IMERSÃO DE GRÃO-DE-BICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Campo Mourão, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Angela Maria Gozzo

CAMPO MOURÃO

2018



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
**Campus Campo Mourão**  
**Departamento Acadêmico de Alimentos**  
**Coordenação de Engenharia de Alimentos**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE SISTEMAS COLOIDAIIS  
FORMADOS POR ÁGUA DE IMERSÃO DE GRÃO-DE-BICO**

por

**ANDRESSA PRESA RICCI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 20 de novembro de 2018 às 10:20 horas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

---

Profa. Dra. Angela Maria Gozzo  
Orientadora

---

Profa. Dra. Stephani Caroline Beneti  
Membro da banca

---

Profa. Dra. Adriana Aparecida Droval  
Membro da banca

---

Nota: O documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR Campus Campo Mourão.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por estar presente em todos os momentos me proporcionando saúde, sabedoria, dedicação e persistência para chegar até aqui e permitir a realização dos meus sonhos.

Agradeço aos meus pais Antônio Ricci e Cecília Presa Ricci por sempre acreditarem no meu potencial e nunca desistirem de mim sempre apoiando e confiando nas minhas decisões, pois sem vocês nada disso seria possível. Sou eternamente grata por todo carinho e amor que vocês me deram e acima de tudo a educação que me forneceram, pois sem ela nada disso estaria acontecendo na minha vida. Aos meus avós, tios e primos pela força que me deram me fazendo crer que não estou sozinha nessa caminhada.

Agradeço aos amigos da graduação Renan Simões, Marina Levorato, Thaysa Moya, Bruna de Gaspari, Heliberto Gonçalves, Carolina Lima, Danielle Oliveira, Jacqueline Thome, Valriane Reis e outras pessoas que não foram aqui citadas, mas que também fizeram parte dessa caminhada. Obrigada pelas tardes/noites de estudos, pelos almoços e churrascos, pelas risadas e brincadeiras. Vocês sem dúvida fizeram essa caminhada ser mais divertida e leve. Agradeço também aos meus amigos de Engenheiro Beltrão, Letícia Zanatta, Jessica Sampaio, Stefanie Souza e Scarlat Fogaça e tantos outros que aqui não foram aqui citados, mas que fizeram/fazem parte da minha vida á anos e tornam meus fins de semana menos estressantes e ao mesmo tempo divertidos.

Agradeço imensamente a minha Orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Angela Maria Gozzo por todos os ensinamentos e dicas dadas para o desenvolvimento desse trabalho, pelo convívio, compreensão, incentivo, confiança e pela predisposição em me ajudar sempre que foi necessário. Agradeço também aos membros pertencentes da banca examinadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Aparecida Droval e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Stephani Caroline Beneti por todas as dicas, correções e críticas dadas para que ocorresse uma melhor realização desse trabalho. E também à Lisa Naomi Okazuka pelo incentivo e idealização inicial do estudo com Aquafaba.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, aos professores e profissionais que diretamente ou indiretamente fizeram parte da minha graduação, me acolhendo tão bem, permitindo assim a realização do curso de Engenharia de

Alimentos, onde a mesma se tornou minha segunda casa durante esses anos de graduação.

Meus agradecimentos também vão para todos aqueles que de alguma maneira doaram um pouco de si para ajudar na conclusão desse trabalho e a todos que me aconselharam a nunca desistir dos sonhos e lutar com toda força e garra para alcançar os meus objetivos, pois hoje vejo o quanto amadureci e tenho a certeza de que fiz a escolha certa.

Aos que me acompanharam e participaram dessa jornada o meu mais sincero e eterno agradecimento!

## RESUMO

RICCI, A. P. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E REOLÓGICA DE SISTEMAS COLOIDAIS FORMADOS POR ÁGUA DE IMERSÃO DE GRÃO-DE-BICO**. 2018. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

O grão de bico (*Cicer arietinum L.*) é um alimento com grande caráter nutricional sendo fonte de proteínas, minerais e vitaminas, é uma planta que se adapta a uma grande variedade de climas. Com o crescimento da população e aumento de pessoas que possuem algum tipo de alergia às proteínas de caráter animal como ovos e leite ou que seguem uma alimentação mais saudável (dieta vegana, ovolactovegana e lactovegetariana) as indústrias vêm buscando outras maneiras de fazer e/ou substituir as matérias primas de origem animal utilizadas para espumas e emulsões. Assim, este trabalho teve como objetivo a extração e caracterização físico-química e reológica da água de imersão de grão-de-bico (aquafaba) analisando a estabilidade dos sistemas formados. Obteve-se para as análises físico-químicas um teor de lipídeos de 0,5 %, teor de proteínas de 8,4 %, carboidratos de 10,3 %, umidade de 80,3 % e pH de 6,93. A cor observada foi amarelo alaranjado/esverdeado e não houve presença de odor. As amostras apresentaram comportamento pseudoplástico, com presença de tixotropia e a cinética de estabilidade indicou formação de espumas relativamente estáveis, quando comparadas com as soluções coloidais tradicionais, elaboradas com albumina. No entanto, notou-se uma ação negativa do óleo de soja na estabilidade da emulsão da aquafaba.

**Palavras-chave:** Grão de bico. Aquafaba. Espuma. Emulsão. Estabilidade. Reologia.

## ABSTRACT

RICCI, A. P. **PHYSICAL-CHEMICAL AND REOLOGICAL CHARACTERIZATION OF COLLOIDAL SYSTEMS FORMED BY CHICKPEA IMMERSION WATER**. 2018. 58p. Course Completion Work (Undergraduate) - Food Engineering. Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2018.

Chickpea (*Cicer arietinum L.*) is a food with great nutritional character as a source of proteins, minerals and vitamins, it is a plant that adapts to a great variety of climates. With population growth and an increase in people who have some kind of allergy to animal proteins such as eggs and milk or following a healthier diet (vegan, ovolactovegana and lactovegetarian diet), industries have been looking for other ways to make and / or animal raw materials used for foams and emulsions. Thus, the objective of this work was the extraction and physical-chemical and rheological characterization of the water of immersion of chickpea (aquafaba), analyzing the stability of the formed systems. For the physicochemical analyzes a lipid content of 0.5%, protein content of 8.4%, carbohydrate of 10.3%, humidity of 80.3% and pH of 6.93 were obtained. The observed color was orange / greenish yellow and there was no odor present. The samples presented a pseudoplastic behavior, with the presence of thixotropy and stability kinetics indicated the formation of relatively stable foams, when compared with the traditional colloidal solutions elaborated with albumin. However, a negative action of soybean oil on the stability of the aquafaba emulsion was noted.

**Key words:** Chickpea. Aquafaba. Foam. Emulsion. Stability. Rheology

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. OBJETIVO GERAL.....	18
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	19
3.1. GRÃO-DE-BICO .....	19
3.2. AQUAFABA .....	20
3.3. ALBUMINA .....	22
3.4. EMULSÕES E ESPUMAS UTILIZADAS EM ALIMENTOS .....	23
3.5. REOLOGIA.....	24
3.5.1. Classificação dos fluidos quanto ao comportamento reológico.....	24
3.5.1.1. Fluidos Newtonianos .....	25
3.5.1.2. Fluidos Não Newtonianos.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
4.1. MATERIAIS UTILIZADOS .....	32
4.2. PREPARO DAS AMOSTRAS.....	32
4.2.1. Extração da aquafaba proveniente do grão-de-bico.....	32
4.2.2. Preparação dos sistemas coloidais .....	32
4.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA AQUAFABA E/OU ALBUMINA .....	33
4.3.1. Determinação do teor de lipídeos na aquafaba.....	33
4.3.2. Determinação do teor de proteínas na aquafaba e albumina.....	33
4.3.3. Determinação de carboidratos na aquafaba .....	33
4.3.4. Determinação da umidade da aquafaba no equilíbrio .....	33
4.3.5. Determinação do pH da aquafaba e da albumina .....	34
4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS COLOIDAIIS (EMULSÕES E ESPUMAS) .....	34
4.4.1. Curva de escoamento – Ensaio estacionários.....	34
4.4.2. Determinação da Cinética de Estabilidade.....	35
4.4.2.1. Análise de cor e odor.....	36
4.4.2.2. Análises Estatísticas.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37

5.1. EXTRAÇÃO DA AQUAFABA E FORMAÇÃO DOS SISTEMAS COLOIDAIIS	
37	
5.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA AQUAFABA E/OU ALBUMINA .....	38
5.3. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS COLOIDAIIS (EMULSÕES E	
ESPUMAS) .....	39
5.3.1. Curva de escoamento – Ensaio estacionários.....	39
5.3.2. Determinação da Cinética de Estabilidade.....	43
5.3.3. Análise de cor e odor .....	50
6. CONCLUSÕES.....	51
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	51
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cultivo de grão-de-bico .....	19
Figura 2 - Separação da aquafaba.....	21
Figura 3 - Albumina .....	22
Figura 4 - Classificação reológica dos fluidos .....	25
Figura 5 - Comportamento reológico dos fluidos Newtonianos .....	25
Figura 6 - Comportamento reológico dos fluidos Não Newtonianos.....	26
Figura 7 - Comportamento reológico dos fluidos tixotrópicos e reopéticos .....	31
Figura 8 – Extração (a) / separação (b) da aquafaba.....	37
Figura 9 - Formação de sistema coloidal com incorporação de ar para albumina (a) / aquafaba(b).....	37
Figura 10 - Reologia para solução coloidal da albumina.....	39
Figura 11 - Reologia para espuma de albumina.....	40
Figura 12 - Reologia para emulsão de albumina e óleo de soja .....	40
Figura 13 - Reologia para solução coloidal da aquafaba .....	40
Figura 14 - Reologia para espuma de aquafaba .....	41
Figura 15 - Reologia para emulsão de aquafaba e óleo de soja .....	41
Figura 16 - Análise de estabilidade em 0 horas .....	44
Figura 17 - Análise de estabilidade em 0,16 horas .....	44
Figura 18 - Análise de estabilidade em 0,5 horas .....	44
Figura 19 - Análise de estabilidade em 1 hora .....	45

Figura 20 - Análise de estabilidade em 2 horas .....	45
Figura 21 - Análise de estabilidade 3 horas .....	45
Figura 22 - Análise de estabilidade em 4 horas .....	46
Figura 23 - Análise de estabilidade em 5 horas .....	46
Figura 24 - Análise de estabilidade em 8 horas .....	46
Figura 25 - Análise de estabilidade em 18 horas .....	47
Figura 26 - Análise de estabilidade em 24 horas .....	47
Figura 27 - Análise de estabilidade em 27 horas .....	47
Figura 28 - Curva de separação de fases das espumas/emulsões .....	48
Figura 29 - Curva de estabilidade das espumas/emulsões .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos mais utilizados para estudo do comportamento reológico .....	28
Tabela 2 - Sistemas analisados .....	34
Tabela 3 - Modelos usados para os estudos do comportamento reológico de biomateriais.....	35
Tabela 4 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos das amostras de aquafaba e albumina.....	38
Tabela 5 - Parâmetros reológicos encontrados a partir do modelo matemático de Herschel-Bulkley para cada uma das amostras de albumina/aquafaba analisadas..	42

## NOMENCLATURA

$K$  – Índice de consistência do fluido ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ );

$K_B$  – Índice de consistência para Bingham ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ );

$K_h$  – Índice de consistência para Herschel-Buckley ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ).

## LETRAS GREGAS

$n$  – Índice de comportamento (adimensional);

$n$  – Índice de comportamento do fluido para Ostwald-de-Waele (adimensional);

$n_h$  – Índice de comportamento do fluido para Herschel-Buckley (adimensional);

$\eta_{\text{aparente}}$  –Viscosidade aparente (Pa.s);

$\tau$  – Tensão de cisalhamento (Pa);

$\tau_0$  – Tensão residual (Pa);

$\mu$  –Viscosidade absoluta (Pa.s);

$\dot{\gamma}$  –Taxa de deformação ( $s^{-1}$ ).

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de consumidores à procura de uma alimentação mais saudável vem ganhando importância nas últimas décadas, tal demanda, tornou necessário o desenvolvimento de tecnologias e de novos sistemas. Frente a isso, os sistemas coloidais (emulsões e espumas) participam positivamente da base de muitos produtos, os quais vêm de encontro com as expectativas do setor alimentício (MIQUELIM, 2010).

Entretanto, pessoas com algum tipo de alergia e/ou restrição alimentar, como os intolerantes ou alérgicos a ovos (albumina), possuem a necessidade de restringir o consumo de alguns alimentos, o que diminui a variedade de produtos disponíveis para esse público alvo (SOUZA, 2017).

Conforme *“Food Allergy Research & Education”* (2017) a alergia a ovos é a segunda alergia mais comum em crianças, perdendo apenas para a alergia ao leite, porém a maioria das crianças supera a alergia ao ovo através da exposição gradual e lenta da criança ao alimento em questão. Os sintomas de uma reação alérgica podem variar de leve como urticária, até mesmo uma grave, como a anafilaxia e a insuficiência respiratória. Já em um adulto intolerante a albumina, esta não envolve o sistema de defesa do organismo, mas ocasiona problemas de digestão em diferentes graus.

A cada dia, os consumidores se tornam mais exigentes com a qualidade nutricional dos produtos que adquirem, sendo crescente o número de pessoas que optam por dietas diferenciadas e vegetarianas, excluindo total ou parcialmente, fontes de origem animal e seus derivados (BRÜGGER, 2009). Consumidores que seguem uma dieta vegana, ovolactovegetariana e lacto-vegetariana, ou simplesmente que buscam uma alimentação mais saudável, tendem a consumir menos gordura saturada e colesterol e incluir mais fibras, promovendo uma busca crescente por novos produtos que venham a substituir os alimentos tradicionais por isso esses sistemas estão sendo cada vez mais analisados (CRAIG, 2009).

O interesse em estudar emulsões e ampliar suas aplicações tem levado a diversos estudos sobre sua estrutura e sua estabilidade quando adicionado em sistemas. As emulsões servem como base para alimentos consumidos frequentemente como maionese, molho para saladas, manteiga, margarinas, cremes à base de leite, embutidos, entre outros (VIANNA, 2009).

Castro (2014), Myers (1999) e Knowlton (2006) compartilham que podem se definir como emulsões misturas heterogêneas, ou seja, que ao menos um líquido imiscível agregado a outro na forma de gotículas com diâmetros aproximados ou maiores que 0,1  $\mu\text{m}$ .

Espumas são sistemas coloidais que possuem uma fase gasosa estabilizada em uma matriz. Sua formação consiste em incorporar e conferir estabilidade a uma fase gasosa na forma de bolhas pequenas em uma fase sólida ou semi-sólida contínua, obtendo uma estrutura aerada. Operações deste tipo são utilizadas para produzir produtos leves, onde há modificação da aparência e estrutura que confere coesão e flexibilidade com um aspecto homogêneo, logo melhorando sua distribuição molecular. Servem como base para alimentos como sorvetes, *flans*, *chantilly*, *marshmallow*, mousses, bases de massas alimentícias. Além disso, as espumas possuem um fator estrutural importante, o ar que é um ingrediente de custo zero para indústria (NARCHI; VIAL; DJELVEH, 2007).

Como estabelecido por Wang et al., (2014) muitos produtos alimentícios são formados por sistemas coloidais (emulsões e espumas) e estes comumente são estabilizados por proteínas, as quais geralmente são de origem animal. Atualmente acumulou-se algumas evidências a favor do aumento do consumo de produtos de origem vegetal na alimentação o que promove um ganho nutricional considerável. Entretanto, para pessoas que seguem uma dieta específica que contenha baixas quantidades de carboidratos, a aquafaba vem a ser uma excelente opção para substituir ovos nas espumas ou emulsões.

Monteiro (2017) estudou a aplicabilidade da aquafaba em diversas receitas voltadas ao público que possui algum tipo de alergia alimentar ou até mesmo para aqueles que seguem uma dieta restrita, posteriormente realizou-se uma análise sensorial, onde os resultados obtidos foram positivos e obtiveram uma intenção real de compra.

Apesar do Brasil ser um país produtor de grão-de-bico, o mesmo ainda não é consumido diariamente, entretanto, o grão-de-bico é a segunda leguminosa mais consumida no mundo e promete elevados rendimentos ao agronegócio brasileiro (HOSKEM et al., 2017).

Como as necessidades de uma alimentação saudável estão se expandindo de acordo com o tempo, os benefícios que a integração do grão-de-bico pode causar um grande benefício da saúde de quem o consome, logo possui um grande potencial

a ser explorado, onde em tempos passados o grão-de-bico esteve presente na alimentação das civilizações antigas, como fonte de energia sendo muitas vezes utilizada como suplementação em tempos de guerra (FLANDRIN & MONTANAIRE, 1998).

Além das características nutricionais, amidos de leguminosas são conhecidos pela alta viscosidade de gel, resistência ao inchamento e à ruptura (AGGARWAL et al., 2004; AGUNBIADIA & LONGEB, 1999). De acordo com Ferreira et al. (2006) o consumo do grão-de-bico é principalmente voltado para os grãos inteiros, mas apresenta grande potencial a ser estudado tanto nutricionalmente quanto tecnologicamente.

A combinação de biopolímeros possui forte capacidade de emulsão, porém, informações com detalhes de sua estrutura e características tecnológicas são escassas. Explorar novas fontes de emulsificantes e melhorar suas propriedades funcionais visando aproveitamento na indústria torna-se economicamente importante (FERREIRA et al., 2009).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre o comportamento reológico e físico-químico de emulsões e espumas formadas pela aquafaba, proveniente do grão-de-bico, a qual aparece como uma alternativa para melhorar e estabelecer novos parâmetros aos sistemas, considerando ainda, o grande interesse da indústria em substituir parcial ou integralmente a matéria-prima animal, atendendo ao apelo de uma grande população que possui algum tipo de alergia ou intolerância a albumina ou que segue uma dieta vegana.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho teve como objetivo geral a extração e caracterização físico-química e reológica da água de imersão de grão-de-bico (aquafaba), analisando a estabilidade do seu sistema coloidal, o qual foi comparado com sistemas formados pela albumina aerada (espuma) e albumina-óleo (emulsão).

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Contudo, para atingir o objetivo geral citado acima, alguns objetivos específicos foram determinados:

- Determinação físico-química da aquafaba, onde foi analisado a composição centesimal (proteínas, gordura, umidade), pH, cor e odor. Para albumina foi analisado somente o pH e teor de proteínas.
- Comparação da estabilidade dos sistemas formados pela água de imersão do grão-de-bico e os obtidos pela albumina, analisando a ocorrência de separação de fases e a estabilidade do sistema coloidal formado na presença e ausência de óleo de soja.
- Comparação e estudo reológico dos sistemas obtidos a partir da água de imersão do grão-de-bico e da albumina.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. GRÃO-DE-BICO

Van Dermaesen (1987) destaca que o grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) foi uma das primeiras leguminosas de grão a ser cultivada pelo homem no Velho Mundo, onde algumas pesquisas mostram que esta leguminosa teve sua origem na região que nos dias atuais corresponde ao sudeste da Turquia em divisa com a Síria, pois nessa região, são encontradas algumas espécies de grão-de-bico como *Cicer bijugum*, *Cicer echinospermum* e *Cicer reticulatum*. Manara & Ribeiro (2008) ainda destacam que o primeiro registo sobre o consumo do grão-de-bico foi a cerca de sete mil anos.

Algumas características do grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) foram descritas pelo site RURALNEWS (2016) onde o mesmo se trata de uma leguminosa da família das fabáceas que alcança de 40 a 60 centímetros de altura, é uma planta de ciclo anual, com folhas verde-amareladas e flores brancas, desenvolvem uma bainha na qual se encontram 2 ou 3 grãos com aspecto arredondado, coloração castanho-claro ou esverdeada dependendo de sua variedade (Figura 1).

**Figura 1** - Cultivo de grão-de-bico



**Fonte:** RANIERI, 2014

O site RURALNEWS (2016) ainda enfatiza que no Brasil a leguminosa é produzida em maior escala na região sul, pois o clima é propício para seu cultivo por

apresentar temperaturas mais baixas, sendo o desenvolvimento e cultivo dessa leguminosa maximizado em temperaturas em torno de 9°C até 11°C, onde essa temperatura pode ser ainda menor, porém sem que ocorra geada nos períodos de floração. Porém, apesar de não ser consumida de forma frequente pelos brasileiros a produção atual do Brasil não supre a demanda do país, sendo assim há um alto índice de importação de alguns países como Chile e Argentina.

O grão-de-bico é uma excelente alternativa de se consumir carboidratos e proteínas onde essas proteínas podem ser consideradas a de melhor valor nutricional entre as leguminosas, pois as duas quando somadas abrangem até 80% de seu peso, logo é uma leguminosa que possui uma alta capacidade de suprir as deficiências proteicas e de minerais como P, Mg, Fe, K, Co, Mn (FERREIRA et al., 2006). O grão-de-bico também é fonte de vitaminas, ômega 3, ômega 6 e fibras, e quando comparado a outras leguminosas o mesmo se destaca pela sua digestibilidade. As sementes de grão-de-bico possuem uma quantidade de óleo considerável cerca de 3,8 a 10,2 %, onde este óleo possui elevado teor de ácidos graxos insaturados, majoritariamente linoleico e oleico (BRAGA, 1997).

Embora o grão-de-bico seja uma ótima matéria-prima por se tratar de uma excelente fonte nutricional, alguns fatores antinutricionais devem ser levados em consideração como em qualquer leguminosa de grão, porém, o grão-de-bico só é consumido após a passagem por processo térmico, sendo assim não é consumido cru, onde esse cozimento inativa este conjunto de fatores minimizando assim esta preocupação (TAVANO, 2002).

### 3.2. AQUAFABA

Um dos sistemas formados pelo grão-de-bico é comumente conhecido como aquafaba. Conforme "*The Official Aquafaba Website*" (2016) a palavra aquafaba é o nome comum dado para o líquido provido do cozimento de feijão e outras leguminosas como grão-de-bico, ou seja, o líquido que é tipicamente descartado encontrado em latas ou até mesmo a água descartada após o cozimento caseiro (Figura 2). Popularmente, a aquafaba pode ser utilizada para substituir as claras (albumina do ovo) em muitas receitas doces e salgadas. Sua mistura única de amidos, proteínas e outros sólidos solúveis da planta fornecem um amplo espectro de propriedades emulsificantes, espumantes, de ligação, gelificantes e espessantes.

**Figura 2** - Separação da aquafaba



**Fonte:** Receitas Veganas, 2018

A aquafaba foi descoberta em 2014 na busca de substitutos do ovo pelo francês Joel Roessel, onde a descoberta começou a ganhar um interesse na culinária por estar relacionada com a capacidade de formar uma espuma consistente 100% de origem vegetal. Roessel começou por experimentar vários tipos de alimentos, mas foi nas leguminosas que encontrou a melhor solução, sendo a espuma proveniente da água de grão-de-bico a mais consistente (MONTEIRO, 2017).

Miquelim (2010) destaca que as emulsões e espumas vêm sendo aplicadas no desenvolvimento de novos produtos adaptados as novas preferências e expectativas do consumidor. A busca crescente das empresas do setor alimentício em encontrar matéria prima que substitua alimentos de origem animal leva em direção as pesquisas envolvendo vegetais. Dentre eles, o grão-de-bico se mostra uma fonte rica em nutrientes, possuindo proteínas e carboidratos adequados na formação de sistemas complexos.

No entanto, as características físico-químicas e de textura de suas emulsões não são conhecidas, passando praticamente despercebidas pelos Centros de Pesquisa.

Um número crescente de consumidores prefere fontes veganas de proteína, dietas restritas a alérgenos e redução da quantidade de carboidratos para produtos alimentícios. A demanda por produtos à base de leguminosas, especialmente a partir de lentilha, grão-de-bico e fava, está em constante crescimento devido ao alto teor de proteína, fibra alimentar e baixo teor de gordura saturada das leguminosas. As leguminosas também contêm fitoquímicos com atividade biológica potencialmente benéfica (SHIM et al., 2018).

### 3.3. ALBUMINA

Denomina-se como albumina uma proteína globular composta exclusivamente por aminoácidos, possui alta solubilidade em água e pouco solúvel em soluções salinas concentradas, quando exposta ao calor excessivo sofre desnaturação. Alguns tipos de albuminas são muito conhecidas, onde o nome que lhe é dado varia conforme o local onde se encontram em maiores quantidades: soroalbumina está presente no plasma sanguíneo, ovoalbumina/albumina (Figura 3) é a principal proteína da clara do ovo, e lactoalbumina está presente no leite (REBELO et al., 2016).

**Figura 3** - Albumina



**Fonte:** LEITE, 2018

A origem do nome albumina vem do albume, que é a clara de ovos de aves (do latim, *albus* significa branco). No começo do século XIX a clara de ovo era uma das substâncias orgânicas mais estudadas onde o que mais prendia a atenção dos pesquisadores era a capacidade de coagulação da clara quando era submetida ao calor, alguns anos mais tarde, os pesquisadores descobriram que algumas substâncias orgânicas presentes no leite e no sangue eram formadas basicamente pelos mesmos átomos que a clara de ovo, e que essas também sofriam coagulação quando expostas a temperatura elevada (CARDOSO, 2013).

A principal propriedade e aplicabilidade da clara do ovo é a formação de espuma, que consiste na agregação de ar em uma rede formada por proteínas que se ligam quando expostas a agitação, em outras palavras, o batimento das claras. No decorrer da agitação a albumina se desnatura, sua estrutura é desdobrada e começa a formar grandes bolhas de ar, onde o tamanho das mesmas é reduzido conforme a agitação continua aumentando o número das bolhas de ar, resultando em um maior volume devido a incorporação de ar, logo o volume resultante desta agitação é

consideravelmente maior do que quando o ovo é fresco e em temperatura ambiente (REIS, 2014).

A albumina é utilizada frequentemente por atletas como uma espécie de suplemento alimentar, pois ela auxilia no aumento de massa muscular, esta proteína fornece consideráveis quantidades de aminoácidos o que contribui para uma reposição do conteúdo proteico dos músculos e para o processo de hipertrofia muscular (CARDOSO, 2013).

### 3.4. EMULSÕES E ESPUMAS UTILIZADAS EM ALIMENTOS

As emulsões alimentares existem antes dos seres humanos começarem a processar alimentos em escala industrial. Uma emulsão é a mistura entre dois líquidos imiscíveis em que um deles “a fase dispersa” encontra-se na forma de finos glóbulos no seio do outro líquido “a fase contínua”, as emulsões tendem a ser termodinamicamente instáveis, onde a estabilidade pode ser aumentada pela adição de agentes tensoativos de superfície. (SANTOS, 2014).

Os emulsificantes são utilizados para manter uma dispersão uniforme de um líquido em outro com objetivo de melhorar a textura, a estabilidade, o volume, a maciez, a aeração e a homogeneidade, agregando qualidade aos produtos pois possuem várias aplicações, como por exemplo, melhorar a textura e vida de prateleira de produtos contendo amido, pela formação de complexos com os componentes destes; modificar as propriedades reológicas da farinha de trigo, pela interação com o glúten; melhorar a consistência e textura de produtos à base de gorduras, pelo controle de polimorfismo e da estrutura cristalina das gorduras, além de promover a solubilização de aromas. A indústria de alimentos é a maior consumidora de emulsificantes, alguns exemplos de alimentos processados que são emulsões são creme de leite, manteiga, margarina, maionese, molhos para salada, salsicha, linguiça, sorvetes, bolos, chocolate, recheios e produtos instantâneos (ROCHA, 2009).

O ovo é o principal agente para obtenção de espumas e emulsões em alimentos, pois é um alimento de custo reduzido e de fácil acesso, é uma rica e equilibrada fonte de nutrientes essenciais para o ser humano que é composta por ácidos graxos, ferro, fósforo, minerais, vitaminas A, B6, B12, D, E e K e proteínas de alto valor biológico, entretanto, possui também diversas propriedades tecnológicas

funcionais, onde pode proporcionar a outros alimentos cor, viscosidade, emulsificação, gelificação e formação de espuma (SCHNEIDER et al., 2013).

Com o crescimento da população, que possui uma alimentação restrita como veganos, vegetarianos ou até mesmo alérgicos á ovos ou a leite, a fontes de obtenção de espumas e emulsões a partir de matérias primas vegetais estão sendo cada vez mais visadas, pois possuem um grande potencial tecnológico a ser estudado (FRANGE, 2010).

### 3.5. REOLOGIA

A reologia foi criada em 1928 por Eugene C. Bingham e pode ser tida como a ciência que estuda a resposta de um material quando o mesmo está submetido a uma tensão ou deformação (CORREA et al., 2005). Mesmo com o conhecimento da reologia por Newton e Hooke no século XVII, foi somente em 1929 que foi fundada a Sociedade de Reologia e a partir daí o comportamento mecânico de alguns materiais industriais como a borracha, o plástico, cerâmicas e tintas passou a ser do interesse da física, mecânica e da matemática, que surgiu a necessidade do estudo da reologia (GALINDO, 2013).

As características reológicas dos fluidos são propriedades muito importantes e que devem ser consideradas durante fabricação de diversos produtos alimentícios, onde cada produto deve apresentar um comportamento reológico adequado ao que se quer obter, logo torna-se evidente a necessidade do conhecimento de todas as operações unitárias que o mesmo será sujeito (LEONARDI & CAMPOS, 2001).

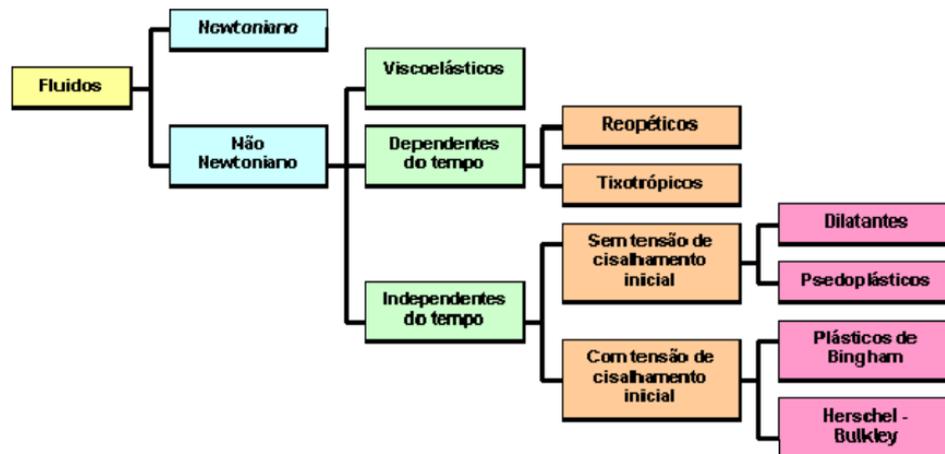
O comportamento reológico auxilia na elaboração de projetos e dimensionamento de equipamentos como bombas, tubulações, agitadores, trocadores de calor, homogeneizadores, extrusoras; auxilia no controle de qualidade de produto tanto nas etapas intermediárias da fabricação como no produto final; possui também serventia na avaliação da vida de prateleira do produto (ORTEGA, 2012).

#### 3.5.1. Classificação dos fluidos quanto ao comportamento reológico

Conceição (1989) menciona que os fluidos podem ser classificados de acordo com o seu comportamento reológico obtido através do seu escoamento por meio da

análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para condições estabelecidas de temperatura e pressão, logo, os fluidos são classificados como newtonianos e não-newtonianos, onde os não-newtonianos possuem subdivisões conforme mostrados na Figura 4.

**Figura 4 - Classificação reológica dos fluidos**

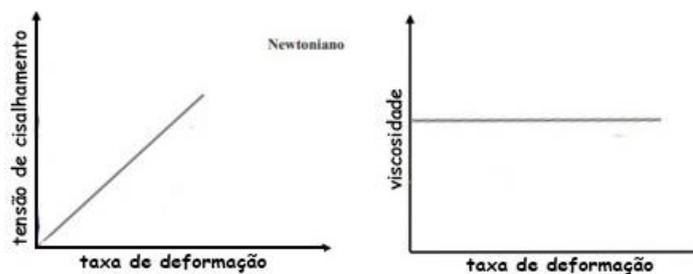


Fonte: COSTA, 2017

### 3.5.1.1. Fluidos Newtonianos

Como citado por Pinto (2008), os fluidos Newtonianos recebem este nome por obedecerem à lei de Newton, ou seja, comportam-se como fluidos ideais, onde a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação e a viscosidade é constante, com condições de temperatura e pressão previamente estabelecidas, contudo, quando a relação é linear sua viscosidade é constante, independentemente da taxa ou tensão aplicadas conforme representado na Figura 5. Como exemplo de fluidos Newtonianos é possível citar: água, leite, óleo mineral, melado, polímeros, glicerina, entre outros (SCHRAMM, 2006).

**Figura 5 - Comportamento reológico dos fluidos Newtonianos**



Fonte: Energia da química, 2010

Entretanto, a curva de escoamento de um fluido denominado newtoniano é uma linha reta que parte da origem e tem uma inclinação cujo inverso é igual ao coeficiente de viscosidade, sendo assim, para um fluido Newtoniano é necessário apenas uma determinação experimental simples, ou seja, em um ensaio que mede apenas um dos parâmetros reológicos já é suficiente para caracterizar seu comportamento reológico, porém esse comportamento pode ser influenciado pela temperatura e pressão (VLIET & LYKLEMA, 2005). A Equação 1 apresenta matematicamente o comportamento reológico dos fluidos newtonianos.

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$\tau$  – Tensão de cisalhamento (Pa);

$\mu$  – Viscosidade absoluta (Pa.s);

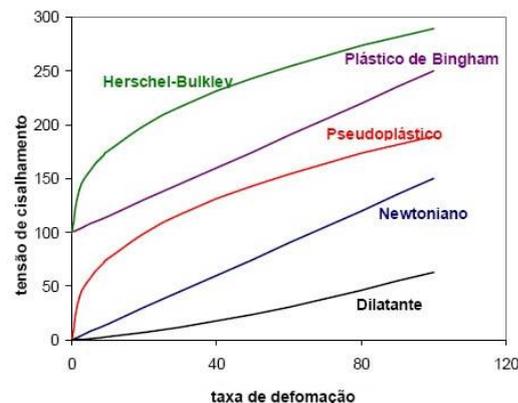
$\dot{\gamma}$  – Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>).

### 3.5.1.2. Fluidos Não Newtonianos

De acordo com Vliet & Lyklema (2005), um fluido é tido como não newtoniano quando a relação entre a tensão e taxa de cisalhamento não possui comportamento linear, sendo assim, os valores da viscosidade mudarão com a variação nos valores da taxa de cisalhamento, onde esses valores obtidos são considerados como viscosidade aparente onde pode aumentar ou diminuir de acordo com as características de cada fluido.

A correlação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação de fluidos não newtonianos pode ser observada conforme a Figura 6.

**Figura 6** - Comportamento reológico dos fluidos Não Newtonianos



Fonte: Energia da química, 2010

A viscosidade aparente é determinada em função do gradiente de velocidade de acordo com a Equação 2.

$$\eta_{aparente} = \mu \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$\eta_{aparente}$  – Viscosidade aparente (Pa.s);

$\mu$  – Viscosidade absoluta (Pa.s);

$\dot{\gamma}$  – Taxa de deformação ( $s^{-1}$ );

$n$  – Índice de comportamento ( $n \neq 1$ ).

Segundo Vliet & Lyklema (2005), os fluidos não-newtonianos em geral são divididos em três grupos distintos quanto ao seu comportamento, e posteriormente divididos em subgrupos:

- Fluidos independentes do tempo, são aqueles cuja viscosidade depende somente da taxa de cisalhamento:
  - Quando não há aplicação de uma tensão de cisalhamento inicial, ou seja, aqueles que não necessitam de uma tensão de cisalhamento inicial para começarem a escoar, nessa classe se encontram os fluidos pseudoplásticos e dilatantes (maior parte dos fluidos não newtonianos);
  - Quando há aplicação de uma tensão de cisalhamento inicial, ou seja, são os fluidos que necessitam de uma tensão de cisalhamentos inicial para começarem a escoar. Dentre os fluidos desta classe se encontram os Plásticos de Bingham e Herschel-Bulkley.
- Fluidos dependentes do tempo, são aqueles cuja viscosidade depende não só da taxa, mas também do tempo de cisalhamento:
  - Tixotrópicos e Reopéticos;
- Fluidos viscoelásticos, esses fluidos apresentam características tanto de sólidos (elasticidade) quanto de líquidos (viscosidade) e exibem uma recuperação elástica parcial após a deformação.

A partir destas características estimou-se alguns modelos reológicos que são utilizados para uma melhor descrição do comportamento dos fluidos onde conhecendo o comportamento destes pode-se realizar um dimensionamento correto de equipamentos, planejamento de projetos e linhas de produção (BRANCO, 1995). Os

modelos reológicos mais utilizados estão representados na Tabela 1, onde a seguir no decorrer desta revisão os modelos são esclarecidos.

**Tabela 1** - Modelos mais utilizados para estudo do comportamento reológico

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>	
Ostwald de Waale	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$	<b>(1)</b>
Bingham	$\tau = \tau_0 + K_B \cdot \dot{\gamma}$	<b>(2)</b>
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K_h \cdot (\dot{\gamma})^{n_h}$	<b>(3)</b>
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K \cdot (\dot{\gamma})^{0,5}$	<b>(4)</b>

**Fonte:** MATHIAS, et al., 2013.

Nos fluidos pseudoplásticos, a tensão de cisalhamento aumenta conforme a elevação da taxa de deformação, apresentando concavidade voltada para baixo. Geralmente são misturas contendo substâncias que quando em repouso apresentam suas moléculas em um estado desordenado, já quando em velocidades de cisalhamento elevadas as moléculas ficam aproximadamente alinhadas justificando assim a diminuição da viscosidade aparente, onde quanto maior essa força maior será essa ordenação, logo maior a viscosidade aparente. Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são polpa de frutas, melão de cana-de-açúcar, caldos de fermentação (SHIROMA, 2012). O comportamento deste fluido pode ser descrito pelo modelo de Ostwald de Waale conforme a Equação 3.

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\tau$  - Tensão de cisalhamento (Pa);

$K$  - Índice de consistência do fluido (Pa.s<sup>n</sup>);

$n$  - Índice de comportamento do fluido para Ostwald de Waale ( $n < 1$ );

$\dot{\gamma}$  - Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>).

Fluidos dilatantes são caracterizados quando sua tensão de cisalhamento aumenta conforme aumenta a taxa de deformação, possuem também uma inclinação maior que a unidade, ou seja ( $n > 1$ ), sendo assim fluidos dilatantes tem comportamento oposto de fluidos pseudoplásticos (SHIROMA, 2012). Alguns exemplos de fluidos dilatantes são suspensões de amido, soluções de farinha de milho e açúcar, silicato de potássio (COSTA, 2017). Os fluidos dilatantes também podem ser representados

pelo modelo de Ostwald de Waale citado na Equação 3, porém o índice de comportamento do fluido ( $n$ ) é superior a 1.

Os plásticos de Bingham se comportam como sólido até que uma tensão mínima nomeada tensão de escoamento seja excedida, onde a partir daí a tensão e a taxa de cisalhamento torna-se linear (GALINDO, 2013). Este fluido se comporta como um sólido quando em condições estáticas e é descrito pelo Modelo de Bingham descrito na Equação 4, da solução só ocorria quando as tensões de corte excediam um valor crítico, a partir do qual a taxa de deformação ao corte variava linearmente com a tensão aplicada (NATAL, 2005). Grande parte dos alimentos se enquadra nesse comportamento, sendo eles: molhos de tomate, maionese, clara de ovo batida e margarina (BOURNE, 1982).

$$\tau = \tau_0 + K_B \cdot \dot{\gamma} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$\tau$  - Tensão de cisalhamento (Pa);

$\dot{\gamma}$  - Taxa de deformação ( $s^{-1}$ );

$\tau_0$  - Tensão residual (Pa);

$K_B$  – Índice de consistência para Bingham ( $Pa \cdot s^n$ ).

Também chamado de Bingham generalizado, o fluido de Herschel-Bulkley também necessita de uma tensão inicial para começar a escoar, porém a relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não possui comportamento linear, assim dependendo do expoente adimensional  $n$  que é característico para cada fluido (SHIROMA, 2012). Alguns fluidos que apresentam esse comportamento, são eles: pasta de dente, graxa, pasta de cimento. O Modelo de Herschel-Bulkley é representado na Equação 5.

$$\tau = \tau_0 + K_h \cdot (\dot{\gamma})^{n_h} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$\tau$  - Tensão de cisalhamento (Pa);

$\dot{\gamma}$  - Taxa de deformação ( $s^{-1}$ );

$\tau_0$  - Tensão residual (Pa);

$K_h$  – Índice de consistência para Herschel-Bulkley ( $Pa \cdot s^n$ ).

$n_h$  - Índice de comportamento do fluido, adimensional, para Herschel-Bulkley ( $n_h > 1$ ).

O modelo de Casson é utilizado para descrever o estado estacionário de substâncias. Exemplos de fluidos de Casson são: iogurte, purê de tomate (COSTA, 2017). O modelo de Casson pode ser descrito pela Equação 6.

$$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K \cdot (\dot{\gamma})^{0,5} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$\tau$  - Tensão de cisalhamento (Pa);

$\tau_0$  - Tensão residual (Pa);

K - Índice de consistência do fluido (Pa.s<sup>n</sup>);

$\dot{\gamma}$  - Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>);

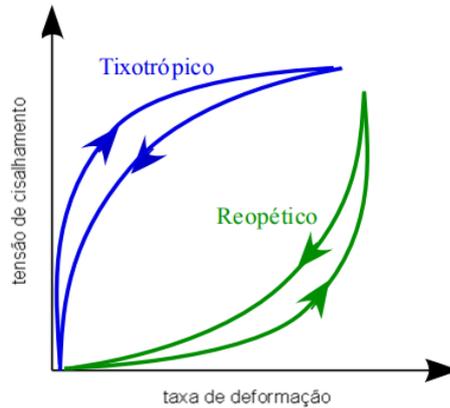
Os fluidos tixotrópicos são caracterizados através do decréscimo na viscosidade aparente com o tempo de aplicação da tensão pois ocorre mudanças reversíveis na microestrutura do fluido, quando o cisalhamento é cessado, ou seja, após o repouso eles tendem a retornar à condição de viscosidade inicial, onde o tempo para a formação do gel depende da natureza do fluido e da temperatura, onde essa estrutura pode se desfazer em alguns minutos ou levar horas (SHIROMA, 2012). De acordo com Correa et al., (2005), a curva formada por um fluido de tixotrópico é similar à de um fluido pseudoplástico pois a viscosidade aparente diminui à medida que a taxa de deformação aumenta, onde o que difere os dois comportamentos é que a viscosidade aparente não depende somente da taxa de cisalhamento, mas também do tempo. Alguns exemplos de fluidos que apresentam comportamento tixotrópico são: ketchup, pastas de frutas, suspensões concentradas, emulsões, soluções protéicas, cremes, manteigas, molhos de salada.

Os fluidos reopéticos são caracterizados pela apresentação de um aumento da viscosidade aparente conforme o aumento da taxa de deformação, da mesma forma que os fluidos tixotrópicos os fluidos reopéticos tendem a retornar ao seu comportamento reológico inicial após o repouso, porém o comportamento é inverso (COSTA, 2017). Um exemplo de fluido que possui comportamento reopético são as suspensões de amido.

Conforme Machado (2002) o fenômeno denominado histerese para reologia é a tendência de um fluido voltar ao seu estado físico inicial após uma crescente aplicação de taxas de cisalhamento, esse fluido é muito observado em alimentos essa ocorrência se dá através da reconstrução molecular que quando cessada a aplicação da tensão ou ao final do período de deformação pode apresentar completa ou parcial

recuperação da estrutura original. Em fluidos não newtonianos independentes do tempo a ida e a volta são coincidentes, ou seja, formam o mesmo perfil, porém, em fluidos não newtonianos dependentes do tempo, ou seja, tixotrópicos e reopéticos essa volta ocorre por outro caminho onde o que está entre a ida e a volta é denominada histerese conforme observado na Figura 7.

**Figura 7** - Comportamento reológico dos fluidos tixotrópicos e reopéticos



Fonte: SHIROMA, 2012

Como visto, há diversos fatores que influenciam no momento da escolha do modelo reológico que será utilizado para descrever o comportamento de escoamento de um fluido em particular, onde os modelos que foram descritos são de extrema importância para a classificação dos mesmos.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. MATERIAIS UTILIZADOS

O grão-de-bico utilizado foi o industrializado seco, já a albumina foi utilizada a *in natura* extraída diretamente do ovo, ambos adquiridos no comércio. As vidrarias e utensílios utilizados estão localizados nos laboratórios da UTFPR. Os reagentes (SIGMA) e insumos utilizados nas análises foram comprados buscando as maiores purezas.

### 4.2. PREPARO DAS AMOSTRAS

#### 4.2.1. Extração da aquafaba proveniente do grão-de-bico

A extração da aquafaba foi realizada conforme Pontes (2016) onde, inicialmente, o grão-de-bico (200g) ficou totalmente imerso em água filtrada (450 ml) durante seis horas, ocorrendo duas trocas durante este período. No fim deste, o sobrenadante foi retirado e descartado.

Adicionou-se 750 ml de água filtrada ao grão-de-bico anteriormente tratado, e passou por processo térmico com temperatura de 120 °C e pressão de 2 atm durante 20 minutos. Após o procedimento citado, obteve-se 250 ml de sobrenadante. Posteriormente, o sistema foi armazenado em um refrigerador a uma temperatura de 8°C por 24 horas. Após este período, o produto passou por filtração, realizando a análise de cinética de estabilidade. Para as demais análises, o sobrenadante foi seco em estufa com circulação de ar até peso constante.

#### 4.2.2. Preparação dos sistemas coloidais

Inicialmente foi padronizada a quantidade de água contida nos sistemas formados pela aquafaba e pela albumina, de tal forma que os dois sistemas apresentassem a mesma quantidade de água.

As espumas/emulsões foram obtidas por agitação mecânica, dos sistemas de aquafaba e albumina, à 400 rpm por 3 minutos e acondicionadas em provetas graduadas armazenadas em temperatura ambiente para as análises de cinética de

estabilidade e em potes herméticos, armazenados à 10°C para as análises de reologia.

As emulsões e espumas foram formadas com a mesma rotação pelo mesmo intervalo de tempo, porém, nas emulsões foram acrescentadas 10% p/p de óleo de soja antes da agitação.

#### 4.3. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA AQUAFABA E/OU ALBUMINA

##### 4.3.1. Determinação do teor de lipídeos na aquafaba

O teor de lipídeos foi determinado pelo método Soxhlet (AOAC, 1997) onde foi utilizado éter de petróleo como solvente, ou seja, os óleos/gorduras foram extraídos pelas repetidas lavagens com o solvente orgânico sob refluxo, após a extração, o solvente éter de petróleo foi então evaporado e foi realizada a pesagem do lipídeo extraído.

##### 4.3.2. Determinação do teor de proteínas na aquafaba e albumina

O teor de proteínas das amostras foi determinado pelo método de micro Kjeldahl sugerido pela AOAC (1997).

##### 4.3.3. Determinação de carboidratos na aquafaba

Para a quantificação e dosagem de carboidratos adaptou-se a metodologia de Amaral et al. (2007).

##### 4.3.4. Determinação da umidade da aquafaba no equilíbrio

A secagem da aquafaba foi realizada até sua umidade de equilíbrio. A análise foi determinada de acordo com a metodologia do instituto Adolfo Lutz, na qual se é indicada a utilização de estufa à 105°C até a obtenção do peso constante (LUTZ, 2008). O conhecimento da umidade da aquafaba é importante para se padronizar a quantidade de água nas emulsões e espumas.

#### 4.3.5. Determinação do pH da aquafaba e da albumina

A determinação do pH foi realizada de acordo com o método direto do Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando o pHmetro de bancada TecnoPON modelo mPA-210.

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS COLOIDAIS (EMULSÕES E ESPUMAS)

##### 4.4.1. Curva de escoamento – Ensaio estacionários

O comportamento reológico foi analisado na aquafaba e na albumina e em seus sistemas (Tabela 2). As emulsões e espumas foram preparadas conforme item 4.2.2 e acondicionadas à 10°C até início das análises. Os ensaios reológicos foram realizados a 30°C em um reômetro rotacional de cilindros concêntricos, HAAKE (Engineering Laboratories, Massachusetts - EUA), com as taxas de variação entre 0 a 350 (1/s).

As análises forneceram uma medida contínua da relação da taxa de deformação e tensão de cisalhamento, denominada curva de escoamento.

**Tabela 2** - Sistemas analisados

<b>Amostra</b>	<b>Sistema</b>	<b>Aquafaba (g)</b>	<b>Albumina (g)</b>	<b>Óleo (g)</b>	<b>Agitação</b>
<b>1</b>	Aquafaba	100 g	-	-	-
<b>2</b>	Albumina	-	100g	-	-
<b>3</b>	Espuma 1	100 g	-	-	Presença
<b>4</b>	Espuma 2	-	100 g	-	Presença
<b>5</b>	Emulsão 1	100 g	-	10 g	Presença
<b>6</b>	Emulsão 2	-	100 g	10 g	Presença

**Fonte:** Autoria própria, 2018

Os dados de viscosidade aparente ( $\eta_{\text{aparente}}$ ), tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e taxa de cisalhamento ( $\dot{\gamma}$ ) foram ajustados aos modelos matemáticos apresentados na Tabela 3, os quais estão descritos na literatura como os modelos mais utilizados para estudar o comportamento reológico de sistemas contendo biomateriais.

**Tabela 3** - Modelos usados para os estudos do comportamento reológico de biomateriais

<b>Modelo</b>	<b>Equação</b>	
Ostwald de Waale	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$	<b>(1)</b>
Bingham	$\tau = \tau_0 + K_B \cdot \dot{\gamma}$	<b>(2)</b>
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K_h \cdot (\dot{\gamma})^{n_h}$	<b>(3)</b>
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K \cdot (\dot{\gamma})^{0,5}$	<b>(4)</b>

MATHIAS, et al., 2013.

Onde:

$\tau$  - Tensão de cisalhamento (Pa);

K - Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>);

n - Índice de comportamento do fluido para Ostwald de Waale;

$\dot{\gamma}$  - Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>);

$\tau_0$  - Tensão residual (Pa);

K<sub>h</sub> - Índice de consistência para Herschel-Bulkley (Pa.sn);

K<sub>B</sub> - Índice de consistência para Bingham (Pa.sn);

n<sub>h</sub> - Índice de comportamento do fluido, adimensional, para Herschell-Buckley.

Os modelos matemáticos dos dados reológicos, assim como seus ajustes, foram realizados no software Origin Pro 8.

#### 4.4.2. Determinação da Cinética de Estabilidade

Para as cinéticas de estabilidade foram analisados os sistemas descritos na Tabela 1, sendo preparados conforme item 3.2.2 e acondicionados à temperatura ambiente.

A análise de separação de fases foi realizada com o marco inicial em 0 ml pois no início da análise a amostra seria homogênea, logo sem separação. A análise de estabilidade das espumas/emulsões foi feita com o marco inicial em 100 ml, ou seja, no início da análise todas as espumas/emulsões estariam estáveis. Ambas as análises foram realizadas em um tempo de (0 h; 0,16 h; 0,5 h; 1 h; 2 h; 3 h; 4 h; 5 h; 8 h; 18 h; 24 h e 27 h) sendo registrado com o passar do tempo os diferenciais de altura obtidos na proveta.

#### 4.4.2.1. Análise de cor e odor

As amostras (Tabela 1) foram analisadas com relação a cor e odor através de medidas visuais e olfativas diretas durante o tempo de análise de estabilidade.

#### 4.4.2.2. Análises Estatísticas

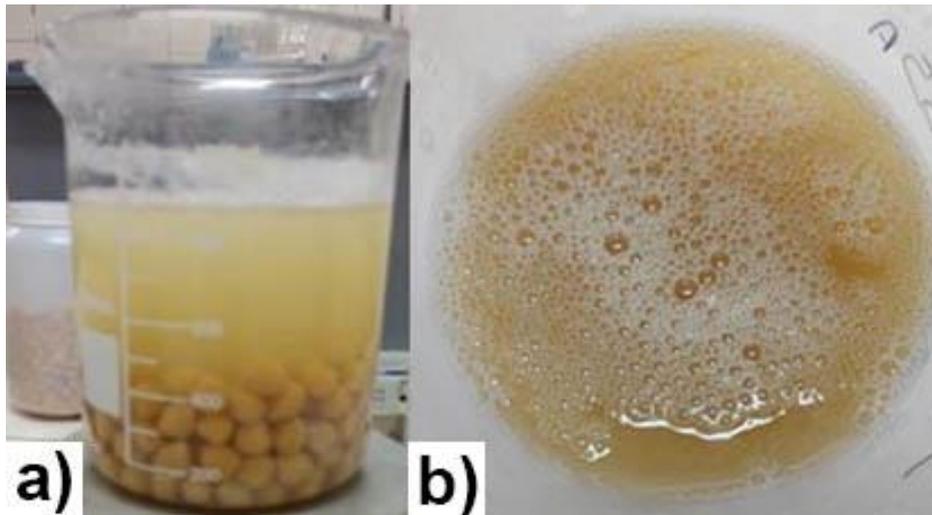
Para o estudo das propriedades físico-químicas e cinética de estabilidade foram utilizados testes estatísticos Anova e Teste de Tukey utilizando o software Excel. Para a modelagem matemática utilizou-se o software OriginPro 8.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. EXTRAÇÃO DA AQUAFABA E FORMAÇÃO DOS SISTEMAS COLOIDAIS

A extração da aquafaba foi realizada conforme o item 4.2.1. (Figura 8).

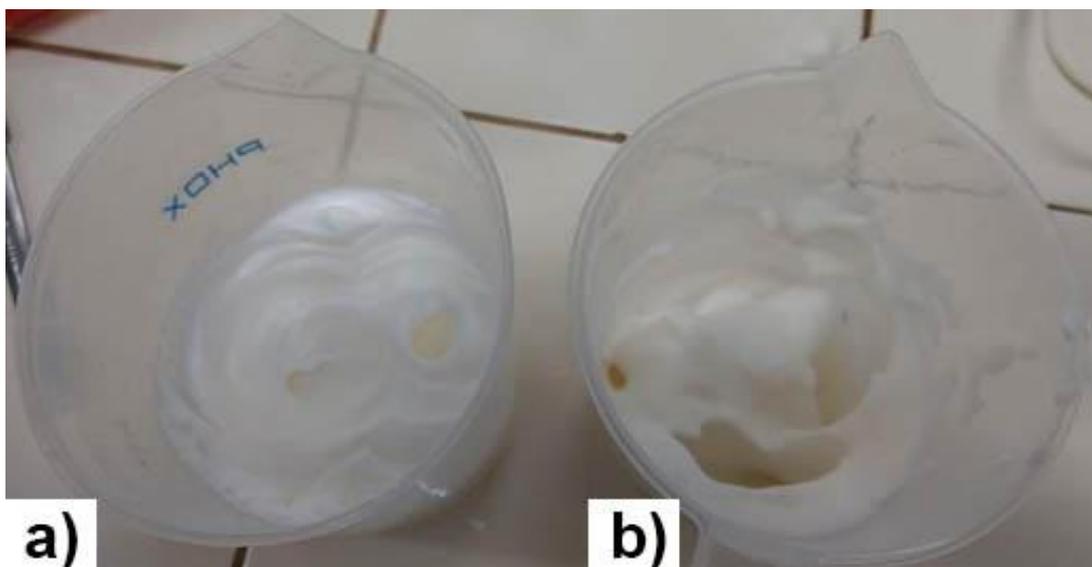
**Figura 8** – Extração (a) / separação (b) da aquafaba



Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

As formações dos sistemas coloidais foram realizadas para a aquafaba e para albumina em temperatura de refrigeração (4°C) através de uma agitação de 400 rpm durante 3 minutos. Os sistemas coloidais obtidos estão representados na Figura 9.

**Figura 9** - Formação de sistema coloidal com incorporação de ar para albumina (a) / aquafaba(b)



Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

## 5.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA AQUAFABA E/OU ALBUMINA

Para obtenção das análises físico-químicas da aquafaba foram utilizadas 100g da mesma, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Valores médios dos parâmetros físico-químicos das amostras de aquafaba e albumina

Parâmetros	Aquafaba	Albumina
Teor de lipídeos (% b.s)	0,5 ± 0,003	---
Teor de proteínas (% b.s)	8,4 ± 0,930	12,3 ± 0,87
Carboidratos (% b.s)	10,3 ± 0,630	---
Umidade (% b.s)	80,3 ± 2,910	---
pH	6,93± 0,200	7,65 ± 0,1
Cor	amarelo alaranjado/esverdeado	---
Odor	Ausente	---

**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

O teor de lipídeos obtido para a aquafaba foi de 0,5%, valor maior que da albumina que segundo Monteiro (2017) possui entre 0,1 - 0,2% de gordura.

O teor de proteínas obtido para a aquafaba foi de 8,4% e para a albumina foi de 12,3%. Segundo Monteiro (2017), o teor de proteínas da albumina gira em torno de 10,6 a 10,9%, sendo que dessa porcentagem 54% é constituída por ovalbumina. Neste trabalho, o teor de proteínas encontrado no experimento foi maior (12,3%).

As principais proteínas presentes no grão de bico e na aquafaba, são as globulinas e as albuminas, onde as globulinas representam cerca de 60 a 80% das proteínas extraíveis do grão, as albuminas representam 15 a 25% (TAVANO, 2002).

A quantidade de carboidratos em base seca obtida para aquafaba foi de 10,3%. Para Santana (2005), a clara do ovo ou simplesmente albumina *in natura* possui uma quantidade de carboidratos que varia de 0,4 a 0,9% e para Monteiro (2017) essa quantidade varia de 0,8 a 1,5%. A presença dos carboidratos na albumina se deve a presença de açúcares, principalmente glicose.

A aquafaba mostrou uma quantidade de carboidratos significativamente maior quando comparada a albumina, o que já era esperado devido à grande quantidade de amido presente no grão-de-bico, que continua presente mesmo após a extração.

A umidade obtida experimentalmente para a aquafaba foi de 80,3%. De acordo com Monteiro (2017); Santana (2005) a albumina possui uma umidade que varia de 87 a 88%, portanto, a aquafaba apresentou uma umidade moderadamente menor que a albumina.

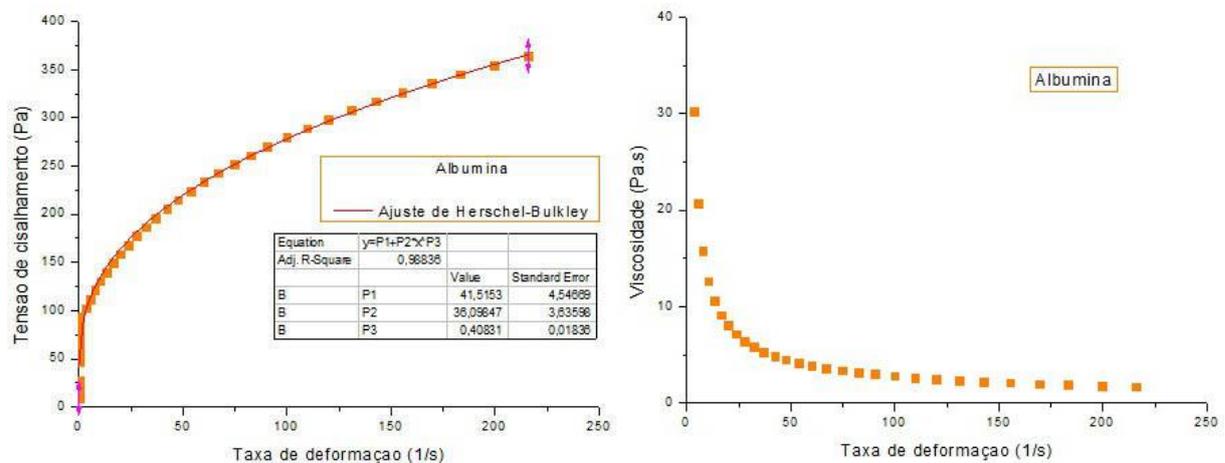
Para Alcântara (2012), o pH da albumina é em torno de 7,6 a 7,9, sendo assim o pH da albumina observado na prática está condizente com o do autor. O pH observado na aquafaba foi de 6,93, semelhante ao pH da água utilizada na extração.

### 5.3. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS COLOIDAIS (EMULSÕES E ESPUMAS)

#### 5.3.1. Curva de escoamento – Ensaios estacionários

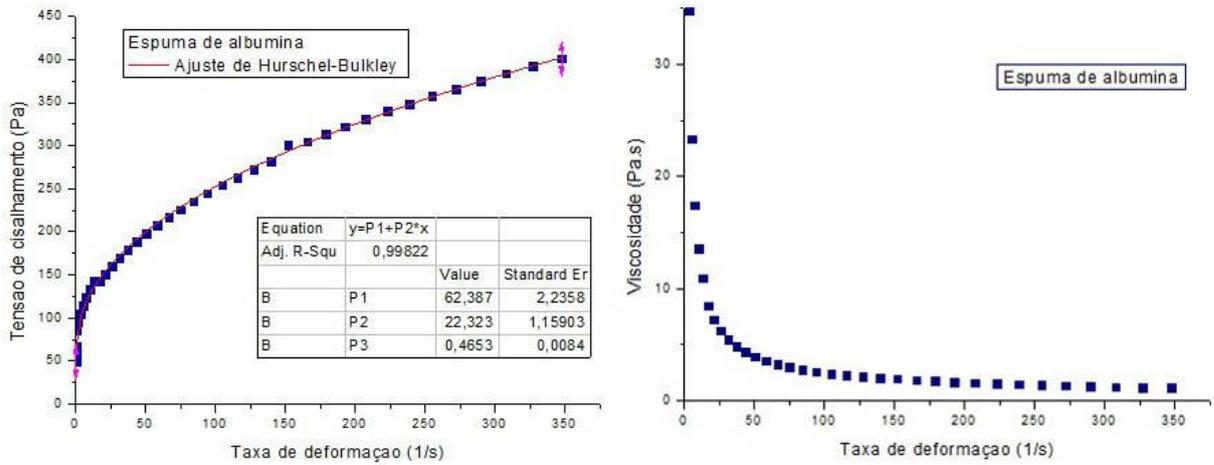
As curvas de escoamento para a aquafaba e para a albumina, nos devidos sistemas analisados (Tabela 2), estão apresentadas nas Figuras 10 a 15.

**Figura 10** - Reologia para solução coloidal da albumina



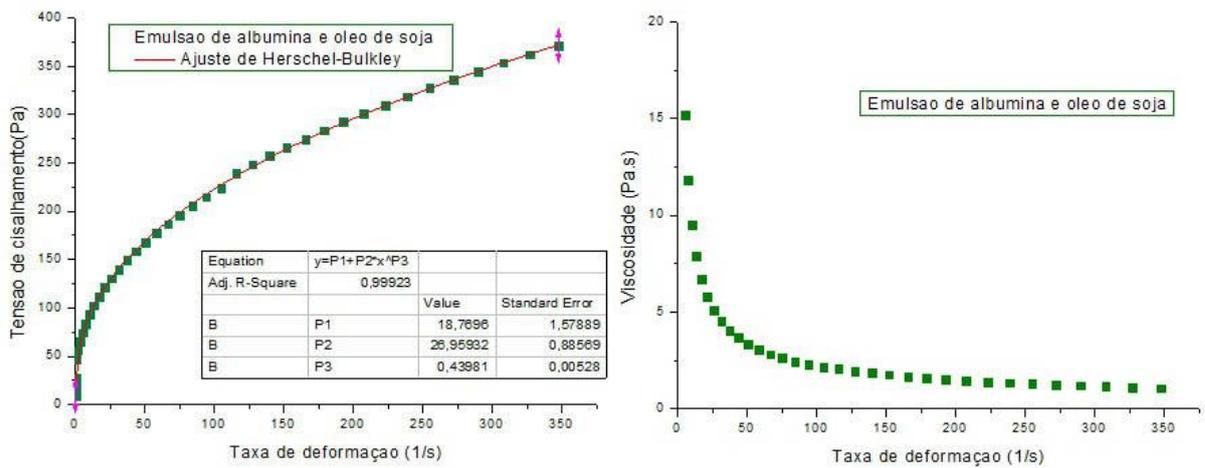
**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 11 - Reologia para espuma de albumina**



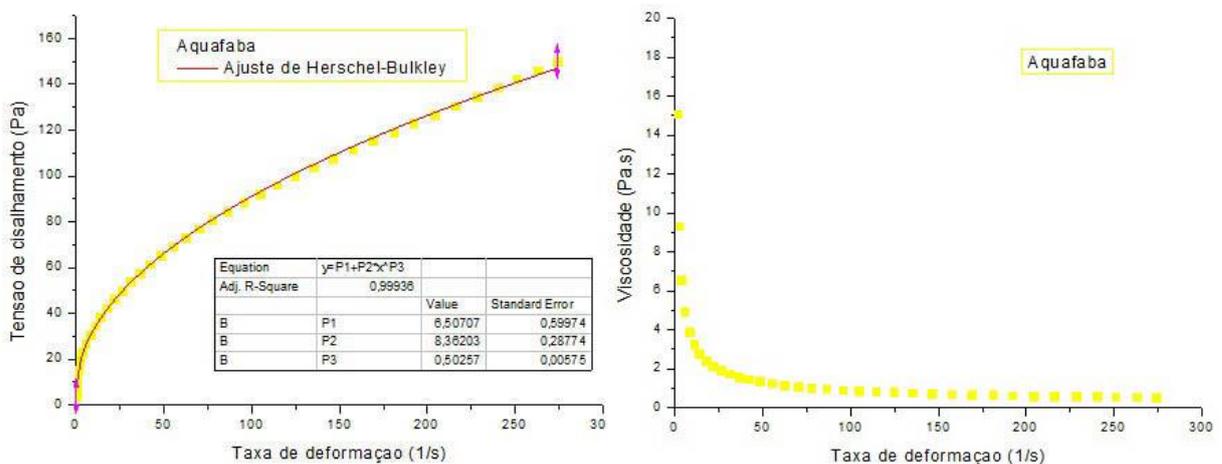
Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 12 - Reologia para emulsão de albumina e óleo de soja**



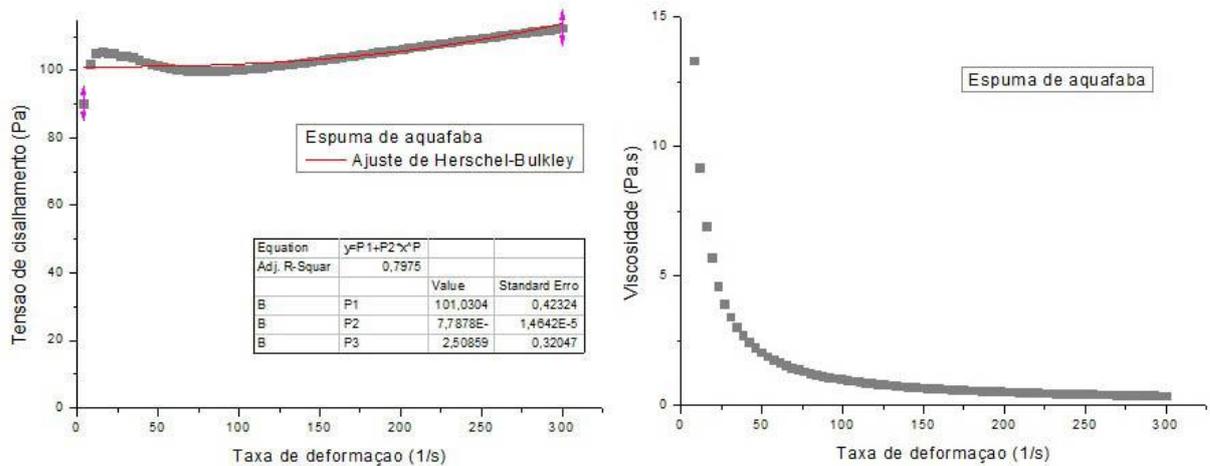
Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 13 - Reologia para solução coloidal da aquafaba**



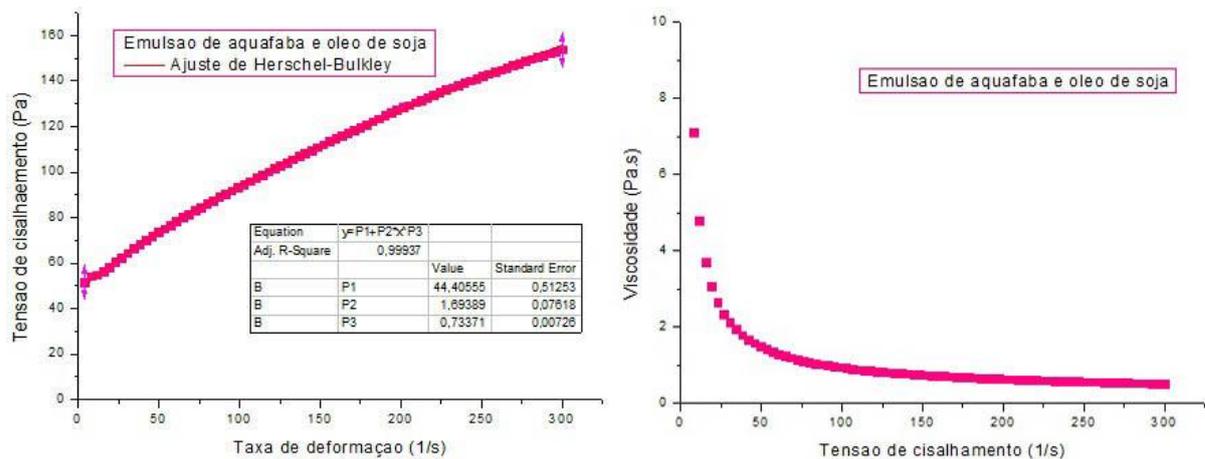
Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 14 - Reologia para espuma de aquafaba**



**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 15 - Reologia para emulsão de aquafaba e óleo de soja**



**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

Os parâmetros reológicos encontrados e seus devidos modelos matemáticos obtidos através das Figuras 10 a 15 estão dispostos na Tabela 5. Optou-se por apresentar somente os parâmetros do modelo Herschel-Bulkley, por este ter apresentado o melhor ajuste para as curvas e conseqüentemente menor erro.

**Tabela 5** - Parâmetros reológicos encontrados a partir do modelo matemático de Herschel-Bulkley para cada uma das amostras de albumina/aquafaba analisadas

Amostra	R <sup>2</sup>	Constantes		
		$\tau_0$	K <sub>h</sub>	n <sub>h</sub>
<b>Albumina</b>	0,98883	41,515	36,0984	0,4083
<b>Espuma de albumina</b>	0,99822	62,387	22,323	0,4653
<b>Emulsão de albumina e óleo de soja</b>	0,99923	18,7696	26,9593	0,4398
<b>Aquafaba</b>	0,99936	6,50707	8,36203	0,50257
<b>Espuma de aquafaba</b>	0,7975	101,0304	7,7878e-6	2,50859
<b>Emulsão de aquafaba e óleo de soja</b>	0,99937	44,40555	1,69389	0,73371

**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

A partir das análises realizadas, verificou-se que a albumina (Figura 10), emulsão de albumina em óleo de soja (Figura 12) e aquafaba (Figura 13) apresentaram um comportamento de fluido pseudoplástico, ou seja, a viscosidade diminui com o aumento da taxa de deformação, lembrando que para um fluido pseudoplástico o índice de comportamento do escoamento (n) é menor que 1 (ÇENGEL, 2012). Esse comportamento também é visualizado em polpa de frutas, soluções de amido, caldos de fermentação, melão de cana e pectina (TONEGUTTI, 2012).

As amostras de espuma de albumina (Figura 11) e emulsão de aquafaba em óleo de soja (Figura 15) mostraram um comportamento pseudoplástico com elevado valor de tensão de cisalhamento inicial (tensão necessária para o fluido começar a escoar) (SHIROMA, 2012). Esse comportamento é visualizado em pasta de dente, lama de perfuração, lodo, suspensões granulares, outras espumas aquosas, tintas, polpa de celulose, graxa e cimento (TADINI et al, 2016). É importante ressaltar que

este não é o equipamento adequado para análises de espumas, podendo promover um efeito de escorregamento, mascarando o verdadeiro resultado.

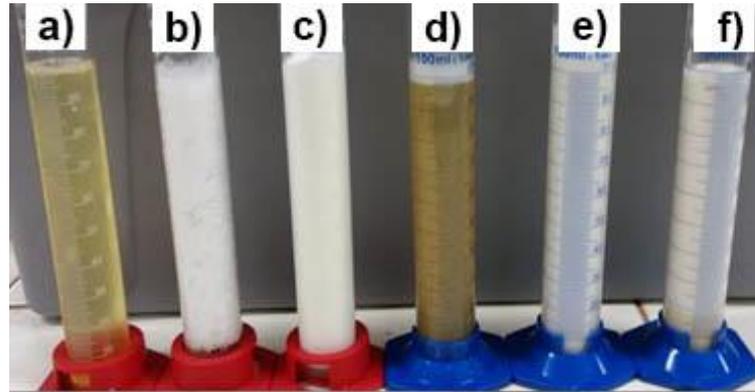
Isto provavelmente ocorreu na espuma de aquafaba (Figura 14), a qual também apresentou comportamento pseudoplástico após  $100 \text{ s}^{-1}$ , porém com elevado valor de tensão de cisalhamento inicial. O comportamento aparentemente dilatante nas baixas taxas de deformação não pode ser confirmado, provavelmente ocorreu o fenômeno do escorregamento na amostra. Com os dados atuais, não se pode concluir com certeza o comportamento do fluido, a explicação deste ocorrido pode ser devido as características da amostra ou devido ao equipamento utilizado. Esta incerteza foi observada durante a modelagem (Tabela 5), onde o modelo Herschel-Bulkley apresentou uma correlação baixa ( $R^2 = 0,7975$ ) quando comparado às demais amostras.

Um comportamento considerável a ser observado foi o decaimento brusco da viscosidade da solução de albumina e aquafaba logo no início da aplicação da tensão de cisalhamento, o mesmo não ocorreu nas espumas e emulsões que demonstraram um decaimento exponencial ao longo da aplicação da tensão de cisalhamento.

### 5.3.2. Determinação da Cinética de Estabilidade

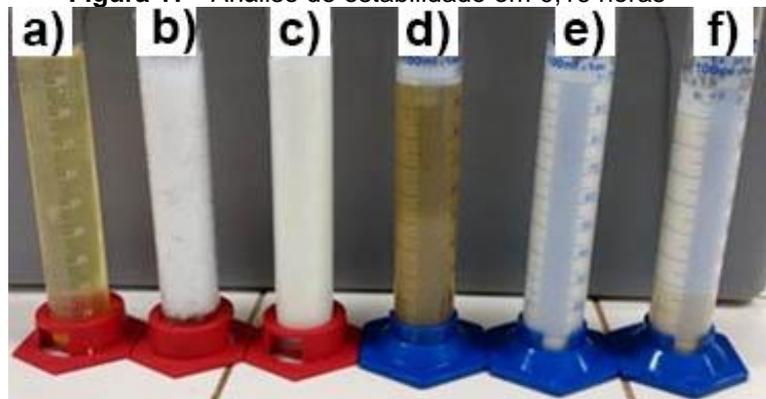
Os sistemas analisados são os propostos na Tabela 1 preparados conforme item 3.2.2 e acondicionados à temperatura ambiente. Foram verificadas a ocorrência de separação das fases, tanto nas espumas quanto nas emulsões indicando assim a estabilidade desses sistemas no tempo de (0 h; 0,16 h; 0,5 h; 1 h; 2 h; 3 h; 4 h; 5 h; 8 h; 18 h; 24h e 27 h). O resultado desta análise está apresentado nas Figuras 16 a 27, onde a ordem da esquerda para direita é albumina pura, espuma de albumina, emulsão de albumina + óleo de soja, aquafaba pura, espuma de aquafaba e emulsão de aquafaba + óleo de soja.

**Figura 16** - Análise de estabilidade em 0 horas<sup>abcdef</sup>



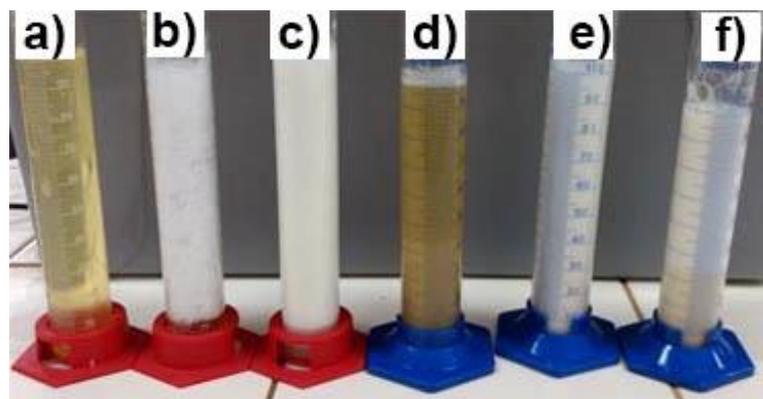
Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 17** - Análise de estabilidade em 0,16 horas<sup>abcdef</sup>



Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 18** - Análise de estabilidade em 0,5 horas<sup>abcdef</sup>



Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

<sup>a</sup> Albumina pura

<sup>b</sup> Espuma de albumina

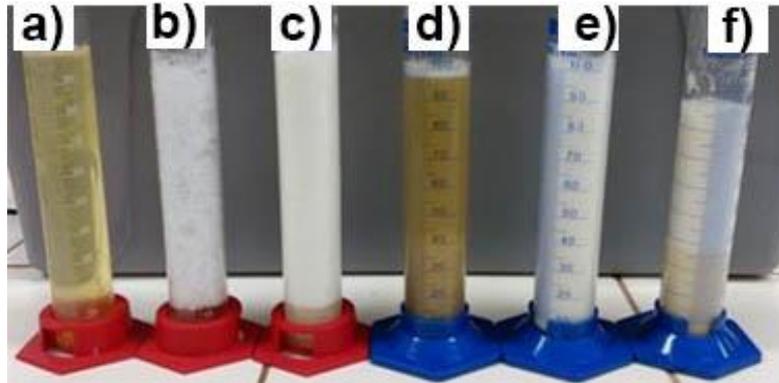
<sup>c</sup> Emulsão de albumina + óleo de soja

<sup>d</sup> Aquafaba pura

<sup>e</sup> Espuma de aquafaba

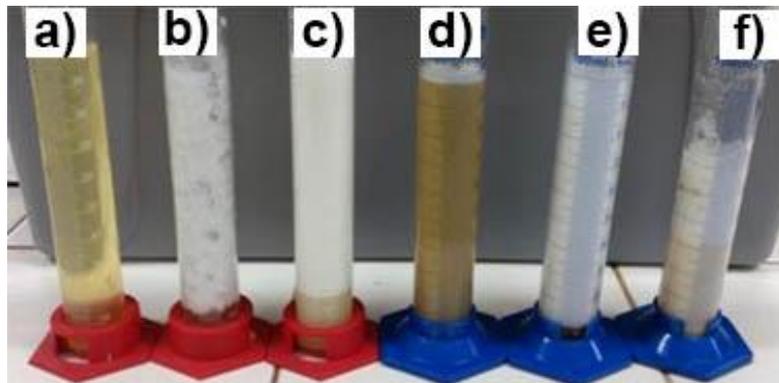
<sup>f</sup> Emulsão de aquafaba + óleo de soja

**Figura 19** - Análise de estabilidade em 1 hora<sup>abcdef</sup>



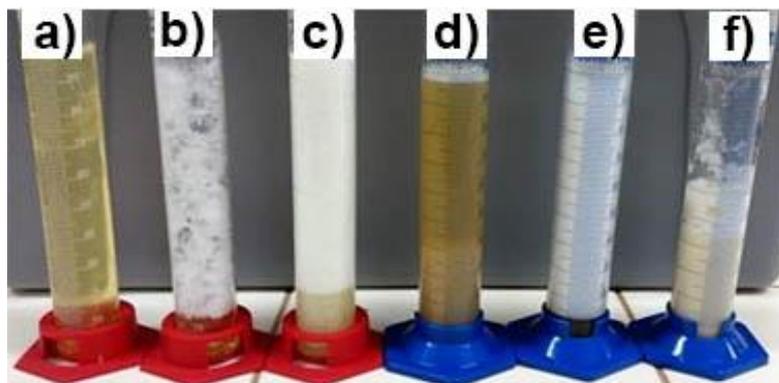
**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 20** - Análise de estabilidade em 2 horas<sup>abcdef</sup>



**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 21** - Análise de estabilidade 3 horas<sup>abcdef</sup>



**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

<sup>a</sup> Albumina pura

<sup>b</sup> Espuma de albumina

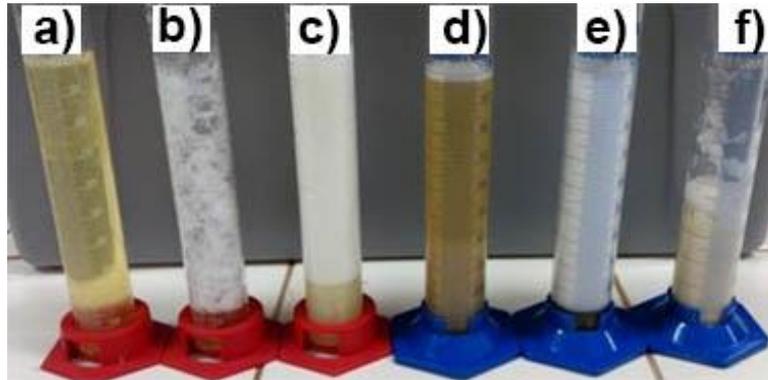
<sup>c</sup> Emulsão de albumina + óleo de soja

<sup>d</sup> Aquafaba pura

<sup>e</sup> Espuma de aquafaba

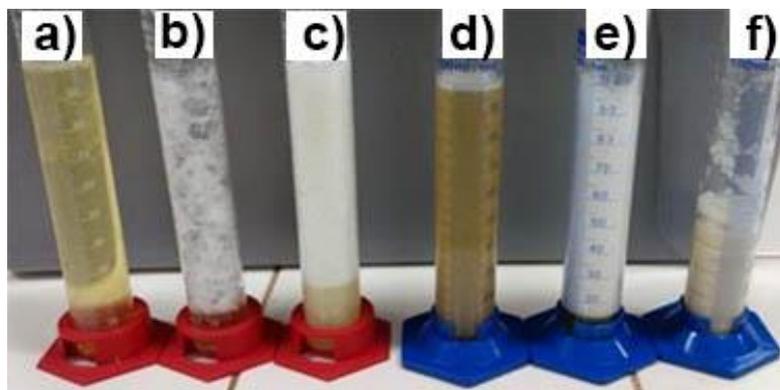
<sup>f</sup> Emulsão de aquafaba + óleo de soja

**Figura 22** - Análise de estabilidade em 4 horas<sup>abcdef</sup>



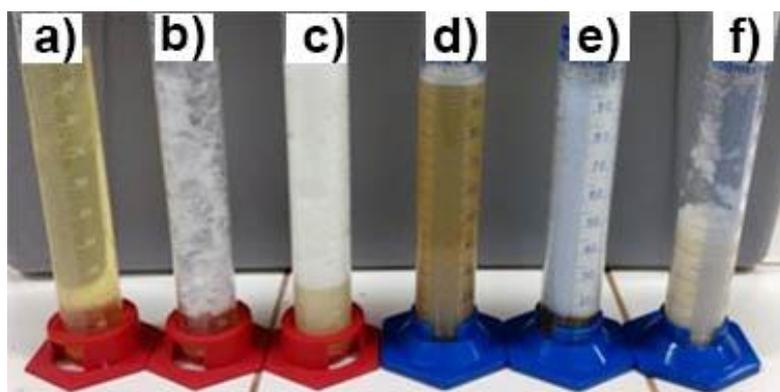
Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 23** - Análise de estabilidade em 5 horas<sup>abcdef</sup>



Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 24** - Análise de estabilidade em 8 horas<sup>abcdef</sup>



Fonte: Dados experimentais próprios, 2018

<sup>a</sup> Albumina pura

<sup>b</sup> Espuma de albumina

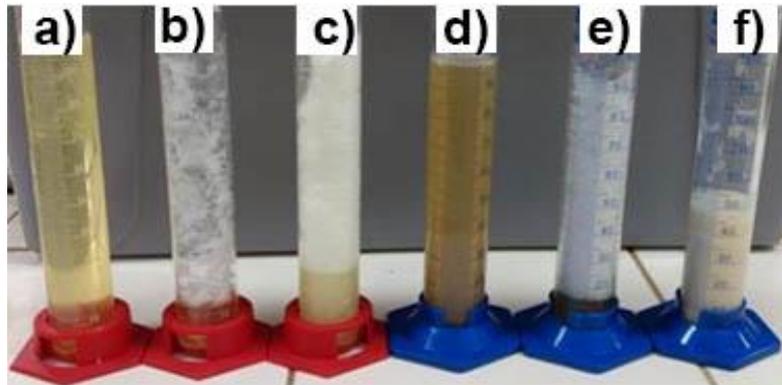
<sup>c</sup> Emulsão de albumina + óleo de soja

<sup>d</sup> Aquafaba pura

<sup>e</sup> Espuma de aquafaba

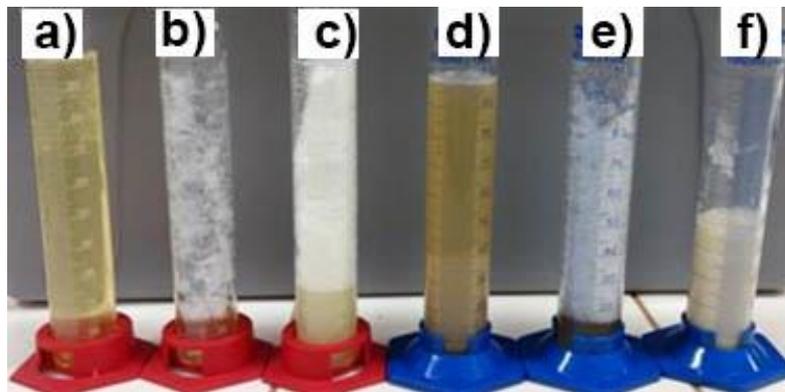
<sup>f</sup> Emulsão de aquafaba + óleo de soja

**Figura 25** - Análise de estabilidade em 18 horas<sup>abcdef</sup>



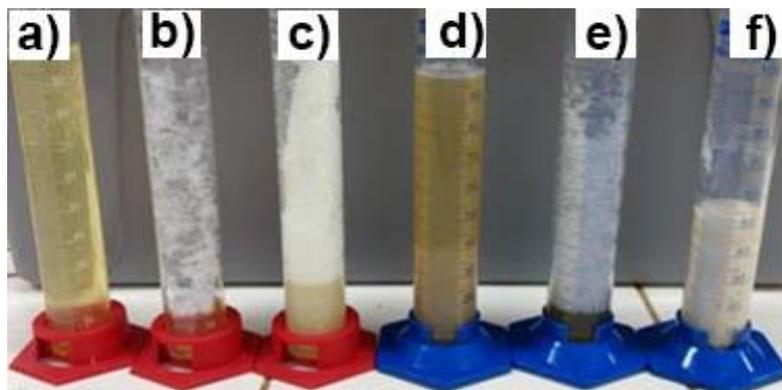
**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 26** - Análise de estabilidade em 24 horas<sup>abcdef</sup>



**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

**Figura 27** - Análise de estabilidade em 27 horas<sup>abcdef</sup>



**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

<sup>a</sup> Albumina pura

<sup>b</sup> Espuma de albumina

<sup>c</sup> Emulsão de albumina + óleo de soja

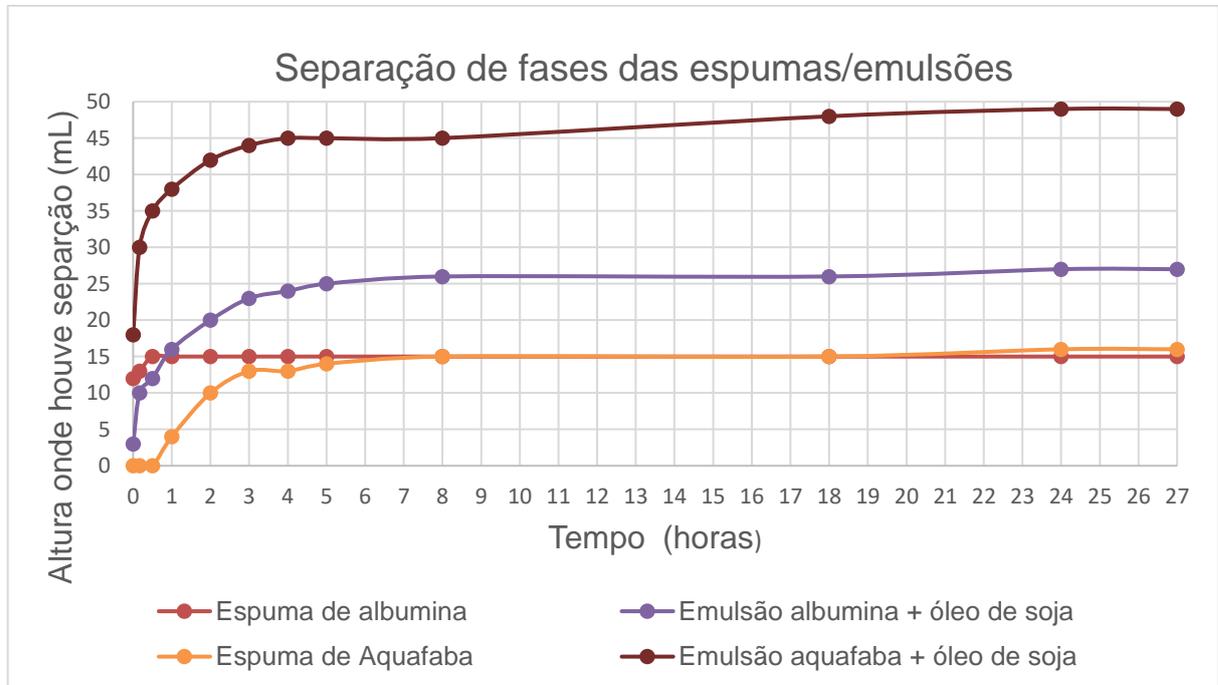
<sup>d</sup> Aquafaba pura

<sup>e</sup> Espuma de aquafaba

<sup>f</sup> Emulsão de aquafaba + óleo de soja

A partir dos diferenciais observados no experimento (menisco), pode-se verificar o nível em que ocorreu a separação de fases, as quais estão descritas na Figura 28.

**Figura 28** - Curva de separação de fases das espumas/emulsões



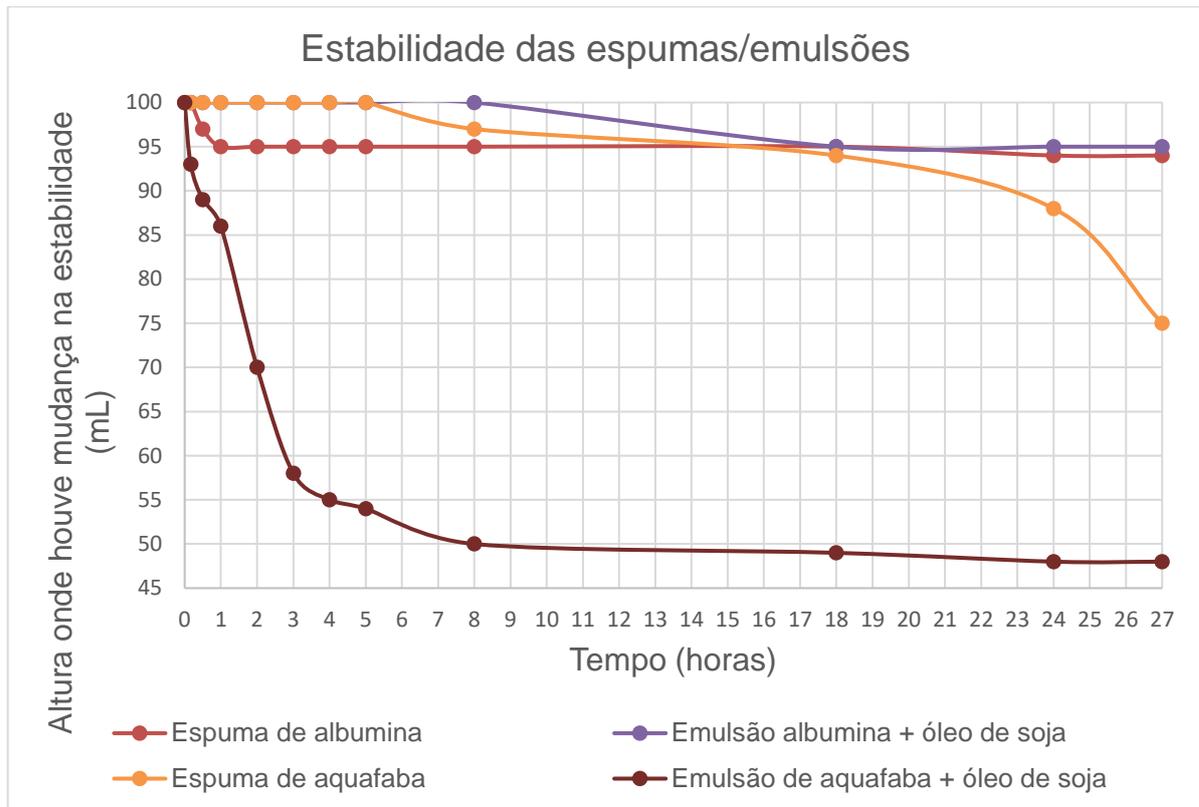
**Fonte:** Dados experimentais próprios, 2018

Ao executar a Anova de fator único utilizando o software Excel, com nível de significância de 95% nota-se que as amostras apresentam diferença significativa entre si quanto a separação de fases, isso se confirma também com base nos valores estatísticos de  $F$  e  $F_{\text{crítico}}$ , onde  $F = 46,292 > F_{\text{crítico}} = 2,816$ .

Aplicando o Teste de Tukey pode-se concluir que todas as espumas e emulsões, tanto de albumina quanto de aquafaba, mostraram um comportamento diferente entre si quanto a separação de fases em um nível de significância de 95%.

A separação das fases foi medida pelo nível (menisco) em que ocorria a separação do sobrenadante (parte inferior da proveta) e o sistema aerado. Pela Figura 28, observamos que a separação de fases tende a estabilidade após 5 horas.

Para a medida de estabilidade das espumas/emulsões, foi considerado como estado inicial o nível 100 ml das provetas, o decréscimo do sistema aerado foi monitorado pelos diferenciais de nível no decorrer do tempo, este diferencial foi plotado na Figura 29.

**Figura 29** - Curva de estabilidade das espumas/emulsões

Fonte: Autoria própria, 2018

Ao executar a Anova de fator único utilizando o software Excel, com nível de significância de 95%, nota-se as amostras apresentam diferença significativa entre si quanto a estabilidade das espumas/emulsões, isso se confirma também com base nos valores de  $F$  e  $F_{\text{crítico}}$ , onde  $F=23,915 > F_{\text{crítico}}=2,816$ .

Aplicando o Teste de Tukey, pode-se concluir que as amostras de espuma de aquafaba, emulsão de aquafaba e óleo de soja e emulsão de albumina e óleo de soja mostraram um comportamento diferente entre si quanto estabilidade das espumas/emulsões, porém a espuma de albumina e a espuma de aquafaba se mostraram estatisticamente iguais com relação a estabilidade em um nível de significância de 95%.

É possível verificar que a emulsão de aquafaba em óleo de soja possui uma estabilidade muito inferior as demais amostras, esta influência negativa do óleo na emulsão não foi verificada no sistema contendo albumina.

Comparando a espuma com a emulsão de aquafaba, nota-se que o óleo desestabilizou grandemente o sistema analisado.

### 5.3.3. Análise de cor e odor

Não houve alteração na cor nem presença de odor durante o intervalo de tempo observado (27 horas após preparação), este é um resultado de extrema importância pois as espumas/emulsões podem vir a ser utilizadas em alimentos que fiquem armazenados em temperatura ambiente, logo, o resultado obtido foi positivo pois as amostras se mostraram estáveis no tempo observado.

## 6. CONCLUSÕES

A extração e formação dos sistemas coloidais da água de imersão de grão de bico (aquafaba) apresentaram resultados satisfatórios, apresentando um sistema visualmente similar aos formados pela albumina.

Quanto às características físico-químicas obtidas para a aquafaba, o teor de lipídeos, de proteínas e de carboidratos foram superiores aos da albumina, em contrapartida, a umidade e pH se mostraram menores para a aquafaba.

Todas as amostras, exceto a espuma de aquafaba, apresentaram comportamento pseudoplástico e tixotrópico, O modelo de Herschel-Buckley descreveu melhor o comportamento reológico, apresentando melhores ajustes e menor erro.

Todas as amostras (emulsões e espumas) provenientes da aquafaba e da albumina apresentaram separação de fases, no entanto, a separação se manteve estável após 5 horas de observação. Nas análises de cinética de estabilidade, nota-se que o óleo de soja atuou negativamente na emulsão de aquafaba, indicando que uma maior atenção deve ser dada a este sistema.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa dará origem a dois novos Trabalhos, em busca de:

1. Adequar a extração conforme legislação.
2. Caracterizar físico-quimicamente todas as águas de lavagem do grão de bico.
3. Otimizar a extração da água de grão de bico (aquafaba), simulando a extração industrial, com aquecimento em autoclave.
4. Aplicar a aquafaba na elaboração de produto açucarado, realizando análise sensorial.
5. Complementar caracterização deste trabalho com análises térmicas e no espectrofotômetro.
6. Realizar a estabilidade da emulsão e espumas de aquafaba, utilizando emulsificante como aditivo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, V.; SINGH, N.; KAMBOJ, S. S.; BRAR, P. S. **Some properties of seeds and starches separated from different Indian pea cultivars.** Food Chemistry, v. 85, p. 585-590, mai, 2004.

AGUNBIADEA, S. O; LONGEB, O. G. **The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and yambean (*Sphenostylis stenocarpa*).** Food Chemistry, v. 65, p. 469-474, jun, 1999.

ALCÂNTARA, J. B. **Qualidade físico-química de ovos comerciais: Avaliação e manutenção da qualidade.** Programa de pós-graduação em ciência animal. Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2012

AMARAL, L. I. V.; GASPAR, M.; COSTA, P. M. F.; AIDAR, M. P. M.; BUCKERIDGE, M. S. **Novo método enzimático rápido e sensível de extração e dosagem de amido em materiais vegetais,** v. 34, p. 1-8, dez, 2007.

Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** AOAC International, Gaithersburg, MD. 16. ed, v. 3, 1997.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement.** New York: Academic Press, p. 325, jan, 1982.

BRAGA, N. R. **Possibilidades da cultura do grão-de-bico (*Cicer arietinum L*) na microrregião de Viçosa, Minas Gerais: competição entre cultivares e nutrição mineral.** Tese Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 101, jun, 1997.

BRANCO, I. G. **Suco de laranja concentrado: Comportamento reológico a baixas temperaturas.** Dissertação Faculdade de Engenharia de Alimentos UNICAMP. Campinas, p. 81, 1995.

BRÜGGER, P. **Nós e os outros animais: Especismo, veganismo e educação ambiental.** Revista semestral da faculdade de educação – UNB. Brasília, v. 15, n. 29, p. 197-214, jul./dez, 2009.

CARDOSO, M. **Albumina**. 2013. Disponível em:

<<https://www.infoescola.com/bioquimica/albumina/>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

CASTRO, R. M. L. **Emulsão: uma revisão bibliográfica**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 59, 2014.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica Dos Fluidos: Fundamentos E Aplicações**. 2.ed. Porto Alegre. Editora AMGH. 2012.

CONCEIÇÃO, R. S. **Comportamento reológico da polpa de goiaba** (*Psidium Constenla*, D. T.; Lozano, J. E.; Crapiste, G. H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature). *Journal of Food Science*, v. 54, n. 3, p. 663-668, 1989.

CORREA, N. M.; JÚNIOR, F. B. C.; IGNÁCIO, R. F.; LEONARDI, G.R. **Avaliação do comportamento reológico de diferentes géis hidrofílicos**. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 41, n. 1, p. 73-78, 2005.

COSTA, C. M. **Caracterização reológica de fluidos complexos**. PUC - RJ. Rio de Janeiro – RJ. p. 18. 2017.

CRAIG, W. J. **Health effects of vegan diets**. *The American Journal of Clinical Nutrition*, v. 89, p. 1627–1633. 2009.

Energia da química. **Reologia**. 2010. Disponível em:

<<https://quimicanastaipas.wordpress.com/energia-da-quimica/>>. Acesso em: 05 set. 2018.

FERREIRA, A. C. P.; BRAZACA, S. G. C.; ARTHUR, V. **Alterações químicas e nutricionais do grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) cru irradiado e submetido à cocção**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v. 26, n. 1, p 80-88, 2006.

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R.; SILVA, F. C. **Potencialidades e oportunidades na química da sacarose e outros açúcares**. *Química Nova*, v. 32, n 3, São Paulo, 2009.

FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. **História da Alimentação**. São Paulo, 1998.

Food Allergy Research & Education. **Egg allergy - Learn about egg allergy, how to read food labels and how to avoid eating eggs**. 2017. Disponível em:

<<https://www.foodallergy.org/common-allergens/egg>>. Acesso em: 08 mar. 2018.

FRANGE, R. **Desenvolvimento de emulsões óleo de oliva/água: avaliação da estabilidade física**. Laboratório de Tecnologia Farmacêutica - Faculdade de Farmácia - Universidade de Uberaba – UNIUBE, p. 10, fev, 2010.

GALINDO, M. S. V. **Desenvolvimento de uma Metodologia para Determinação da Viscosidade de Solos**. Dissertação de Mestrado, p. 20, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.

HOSKEM B. C. S.; COSTA C. A.; NASCIMENTO W. M.; SANTOS L. D. T.; MENDES, R. B.; MENEZES J. B. C. **Produtividade e qualidade de sementes de grão-de-bico no Norte de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. p.262 – 268, v.12. Pernambuco. 2017.

KNOWLTON, E. D. **A Microscopic and Macroscopic Study of Dense Emulsion Rheology**. Tese PhD em engenharia química. Universidade da Califórnia, p.151. Santa Barbara. 2006.

LEITE, P. **Albumina, o que é, para que serve, benefícios e efeitos colaterais**. 2018. Disponível em: <<https://www.mundoboforma.com.br/albumina-o-que-e-para-que-serve-beneficios-e-efeitos-colaterais/#cxVYLWlvpt2dgjHe.99>>. Acesso em: 22 ago. 2018.

LEONARDI, G. R.; CAMPOS, P. M. B. G. **Estabilidade de formulações cosméticas**. v. 3, n. 4, p.154-156, 2001.

LUTZ, A. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Instituto Adolfo Lutz. 4 ed, p. 1020. São Paulo. 2008.

MACHADO, J. C. V. **Reologia e Escoamento de Fluidos**. Rio de Janeiro. 2002.

MANARA, W; RIBEIRO, N. D. **Grão de bico – Chickpea – Revisão bibliográfica**. Cienc.Rural. v. 22, nº3. Santa Maria. 1992.

MATHIAS, T. R.; ANDRADE, K, C, S.; ROSA, C. L. S.; SILVA, B. A. **Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais.** Campinas, v. 16, n. 1, p. 12-20. 2013.

MIQUELIM, J. N. **Avaliação reológica e microscópica de espumas tipo marshmallow.** Tese de doutorado Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, p 116. 2010.

MONTEIRO, R. P. B. **Desenvolvimento de técnicas de pastelaria para a produção de produtos isentos de leite, ovos e glúten.** Dissertação mestrado em Ciências Gastronômicas. p.148. Lisboa. 2017.

MYERS, D. **Surfaces, Interfaces, and Colloids: Principles and Applications.** 2 ed. p. 253-293. Nova Iorque. 1999.

NARCHI, I.; VIAL, C.; DJELVEH, G. **Effect of protein-polysaccharide mixtures on the continuous manufacturing of foamed food products.** Food Hydrocolloids, v. 23, p. 201. 2009.

NATAL, J. **Viscoplasticidade.** Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. p 27. 2005.

ORTEGA, N. **Escoamento de fluidos: propriedades reológicas, fluidos newtonianos e não-newtonianos.** Universidade Estadual de Campinas. p.49. 2012.

PINTO, G. H. V. P. **Cinemática de Partículas em Fluidos de Viscosidade Variável com o Tempo e sua Aplicação na Construção de Poços de Petróleo: Avaliação durante Paradas Operacionais.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN. p. 114. 2008.

PONTES, V. **Casa e cozinha - Foods e truques. Aquafaba! O que é, para que serve, como fazer e tudo o que você precisa saber para sua "clara em neve vegana" dar certo!** 2016. Disponível em:  
<<http://www.casaecozinha.com/2016/04/receita-facil-aquafaba-o-que-e-para-que.html>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

RANIERI, G. **Alimentos em outras formas: Grão de Bico**. 2014. Disponível em: <<http://www.matosdecomer.com.br/2014/07/comidas-que-gente-nunca-viu-planta-grao.html>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

REBELO, M.; DUARTE, M.; HONÓRIO, R. **Albumina**. 2016. Disponível em: <<http://mundodabioquimica.blogspot.com/2016/07/albumina.html>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

Receitas Veganas. **Aquafaba**. 2018. Disponível em: <<https://www.receitasvegnas.net/aquafaba/>>. Acesso em 21 ago. 2018.

REIS, N. **Efeito da adição de diferentes substâncias no batimento de claras em neve**. 2014. Disponível em: <<http://diotecnica.blogspot.com/2014/06/efeito-da-adicao-de-diferentes.html>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

ROCHA, V. **Emulsificantes tipos e funções**. Food Ingredients Brazil, p. 14, n. 7, 2009.

RURALNEWS. **Conheça o cultivo do grão-de-bico, planta cultivada no cerrado e no sul do Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://ruralnews.com.br/visualiza.php?id=267>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

SANTANA, F. **Processamento térmico de ovo**. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2005.

SANTOS, C. A., MING, C. C., GONÇALVES, L. A. **Emulsificantes: atuação como modificadores do processo de cristalização de gorduras**. Ciência Rural, v.44, n.3, p.567-574. Santa Maria – RS. 2014.

SCHNEIDER, S. B., SCHWARTZ, F. F., BRUGNARO, C., MARJOTTA-MAISTRO, C. M., & VERRUMA-BERNARDI, R. M. **Análise sensorial de ovos de galinha (*Gallus gallus domesticus*) orgânicos e convencionais**. vol. 5, n. 1, p. 47-57. 2013.

SCHRAMM, S. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**. Artliber editora. p. 232. São Paulo. 2006.

SHIM, Y. Y., MUSTAFA, R., SHEN, J., RATANAPARIYANUCH, K., REANEY, M. J. **Composition and Properties of Aquafaba: Water Recovered from Commercially Canned Chickpeas**. Departamento de Ciências Vegetais, Universidade de Saskatchewan, Prairie Tide Chemicals Inc., Laboratório de Sementes de Oleaginosas de Guangdong Saskatchewan. Departamento de Ciência e Engenharia de Alimentos. Universidade de Jinan. 2018.

SHIROMA, P. H. **Estudo do comportamento reológico de suspensões aquosas de bentonita e cmc: influência da concentração do NaCl**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. p.130, São Paulo. 2012.

SOUZA, C. C. F. **Consumidores com intolerância ou alergia alimentar: um estudo exploratório sobre suas estratégias de compra**. Trabalho de Conclusão de Curso. p. 63, Rio de Janeiro. 2017.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSOA, P. A. F. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos 1**. 1ª ed. Editora LTC. São Paulo - SP. 2016.

TAVANO, O. L. **Avaliação nutricional de frações protéicas do grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) var. IAC- Marrocos: estudo in vivo e in vitro**. p 94. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Araraquara. 2002.

The Official Aquafaba Website. **What is aquafaba?**. 2016. Disponível em: <<http://www.aquafaba.com/>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

TONEGUTTI, C. A. **Reologia**. 2012. Disponível em: <[http://www.quimica.ufpr.br/tonегutti/CQ170/Aula\\_Reologia.pdf](http://www.quimica.ufpr.br/tonегutti/CQ170/Aula_Reologia.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2018.

VAN DERMAESEN, L. J. G. **Origin, history and taxonomy of chickpea**. cap. 2, p. 11-34. 1987.

VIANNA, R. P. F. **Aplicação de polissacarídeo em emulsão cosmética: análise reológica**. Universidade Federal do Paraná, p.123. Curitiba. 2009.

VLIET, T. V.; LYKLEMA H. **Rheology**. Fundamentals of interface and colloid science, v. 4, p. 61-68. 2005.

WANG, X.; OUYANG, Y.; LIU, J.; ZHU, M.; ZHAO, G.; BAO, W.; HU, F. B. **Fruit and vegetable consumption and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies**. British Medical Journal. 2014.