

VIRGÍNIA NARDY PAIVA

**CREME DE LEITE UHT: PRESSÃO DE HOMOGENEIZAÇÃO *VERSUS*  
TIPOS DE HIDROCOLOIDES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

P149c Paiva, Virgínia Nardy, 1991-  
2019 Creme de leite UHT : pressão de homogeneização *versus*  
tipos de hidrocolóides / Virgínia Nardy Paiva. – Viçosa, MG,  
2019.

ix, 37 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ítalo Tuler Perrone.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 29-37.

1. Creme de leite. 2. Leite homogeneizado.  
3. Hidrocolóides. I. Universidade Federal de Viçosa. Ciência e  
Tecnologia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos. II. Título.

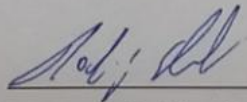
CDD 22. ed. 637.148

VIRGÍNIA NARDY PAIVA

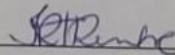
CREME DE LEITE UHT: PRESSÃO DE HOMOGENEIZAÇÃO *VERSUS* TIPOS DE  
HIDROCOLOIDES

Dissertação apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das exigências  
do Programa de Pós-Graduação em Ciência  
e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do  
título de *Magister Scientiae*

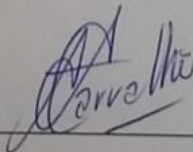
APROVADA: 18 de fevereiro de 2019.



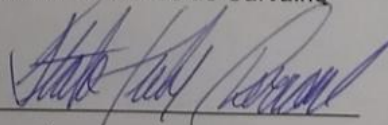
Rodrigo Stephani



Isis Rodrigues Toledo Renhe



Antônio Fernandes de Carvalho



Ítalo Tuler Perrone  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela vida, por ser meu guia e protetor.

Ao professor Ítalo Tuler Perrone, pela orientação, conhecimentos compartilhados, e disponibilidade em ajudar no decorrer de todas as etapas do projeto.

Ao professor Antônio Fernandes de Carvalho, por enriquecer meus conhecimentos na área de leite e derivados.

Ao professor Rodrigo Stephani, por todos ensinamentos e assistência durante e após a condução do experimento.

A todos do laboratório QUIMTEC, pela excelente recepção em Juiz de Fora e pelo auxílio no desenvolvimento e análises experimentais deste trabalho.

Ao professor Maximiliano Soares Pinto, por ter me conduzido a este caminho acadêmico.

A minha mãe, pelo amor, confiança e palavras de fé.

Aos meus irmãos, pela amizade, e por vibrarem comigo a cada conquista.

Ao meu pai, por sempre acreditar no meu potencial.

Ao meu namorado Guilherme, por nunca me deixar desanimar. Pela confiança, incentivo e motivação depositados a mim.

Aos colegas do laboratório INOVALEITE, em especial aos amigos do “Cine Gusta”, Luis Gustavo, Jean, Atalita, Tatiana e Karina, por tornarem essa jornada mais leve, pelo apoio e incentivo.

As minhas amigas Elisângela e Valéria, desde o início juntas, agradeço pela amizade e por toda ajuda. Seja em Viçosa ou Juiz de Fora, vocês foram peças fundamentais nesta caminhada.

Ao Lucas, pelas contribuições, direcionamento e boa vontade em ajudar nas análises reológicas e interpretação dos resultados.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),  
pela concessão da bolsa de estudo.

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. Creme de Leite UHT.....	2
2.2. Homogeneização .....	4
2.2.1. Processo de homogeneização.....	4
2.2.2. Efeito da homogeneização na estabilidade de produtos lácteos ..	6
2.3. Hidrocoloides.....	6
2.3.1. Celulose microcristalina (MCC) .....	7
2.3.2. Goma Locusta (LBG).....	9
2.3.3. Goma Xantana (XG) .....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Processamento .....	13
3.2. Análise instrumental .....	14
3.2.1. Caracterização dos pós dos hidrocoloides .....	14
3.2.2. Estabilidade dos cremes de leite UHT .....	15
3.2.4. Avaliação reológica dos cremes de leite UHT .....	16
3.3. Análises estatísticas.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
4.1. Caracterização dos hidrocoloides – MEV e Espectroscopia Raman. 18	
4.2. Estabilidade dos cremes de leite UHT.....	20
4.3. Avaliação do comportamento reológico das emulsões .....	24

4.3.1. Ensaio dinâmico-oscilatório - varreduras de frequência.....	24
4.3.2. Comportamento ao escoamento.....	26
5. CONCLUSÃO .....	28
6. REFERÊNCIAS .....	29

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Processamento creme de leite UHT .....	4
Figura 2. Micrografia confocal de amostras de leite sujeitas a diferentes tratamentos de homogeneização.....	5
Figura 3. Estrutura química celulose microcristalina.....	9
Figura 4. Celulose microcristalina coprocessada com carboximetilcelulose..	9
Figura 5. Estrutura química goma locusta .....	11
Figura 6. Estrutura química goma xantana .....	12
Figura 7. Delineamento processamento dos cremes de leite UHT .....	14
Figura 8. Caracterização dos hidrocóloides por espectroscopia Raman e Microscopia eletrônica de varredura .....	18
Figura 9. Imagem dos cremes de leite UHT com 40 dias de produção .....	21
Figura 10. Varreduras de frequência dos cremes de leite UHT.. .....	24

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tratamentos submetidos aos cremes de leite UHT .....	13
Tabela 2 - Parâmetros de estabilidade dos cremes de leite UHT .....	20
Tabela 3 - Parâmetros reológicos dos cremes de leite UHT ajustados ao modelo da Lei da Potência .....	26

## RESUMO

PAIVA, Virgínia Nardy, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Creme de leite UHT: Pressão de homogeneização versus tipos de hidrocoloides**. Orientador: Professor Ítalo Tuler Perrone.

A etapa de homogeneização afeta diretamente as propriedades do creme de leite UHT, pois a magnitude da pressão empregada pode influenciar nas características reológicas do produto. A estabilidade da emulsão no creme de leite UHT é obtida por meio da adição de hidrocoloides. Estes, atuam como agentes espessantes, estabilizantes e/ou gelificantes, gerando produtos estáveis, com consistência e viscosidade variáveis. Poucos trabalhos discutem o efeito combinado da magnitude da pressão de homogeneização e da utilização de hidrocoloides nas propriedades do creme de leite UHT. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de duas pressões de homogeneização (20 MPa e 80 MPa) e da adição de diferentes hidrocoloides, sob as propriedades reológicas e de estabilidade do creme de leite UHT com 15 % m.v<sup>-1</sup> de gordura. Os resultados mostraram que a adição de hidrocoloides e o aumento da pressão de homogeneização tiveram influência na estabilidade e no índice de consistência das formulações de cremes de leite UHT. Os cremes de leite adicionados de goma xantana foram os mais estáveis nas duas pressões de homogeneização avaliadas. O índice de consistência (K) foi a propriedade reológica mais influenciada pelo aumento da pressão e pela adição de LBG nos cremes de leite. Todos os cremes de leite apresentaram comportamento reológico de gel ( $G' > G''$ ) e foram classificados como pseudoplásticos.

## ABSTRACT

PAIVA, Virgínia Nardy, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **UHT milk cream: Homogenization pressure versus types of hydrocolloids**. Adviser: Ítalo Tuler Perrone.

Homogenization process direct affects UHT milk cream properties because the intensity of the pressure applied can influence the rheological properties of the product. Emulsion stability in UHT milk cream is achieved through addition of hydrocolloids, which act as thickening, stabilizer and/or gelling agents, leading to stable products, with variables viscosities and consistencies. A few works have discussed the combined effect of the intensity of homogenization pressure and the use of hydrocolloids on the properties of UHT milk cream. This work aimed to evaluate the effect of two different levels of homogenization pressure (20 MPa e 80 MPa) and the addition of different hydrocolloids upon the rheological properties and stability of UHT milk cream with 15 % of fat. The results have shown that the addition of hydrocolloids and the increase of homogenization pressure had influence on stability and consistency index of the formulated UHT milk cream. The creams added of xanthan gum were the most stables at both pressures evaluated. Consistency index (K) was the rheological property most affected by the pressure increase and the addition of LBG on the milk creams. All the milk creams showed a gel like rheological behavior ( $G' > G''$ ) and were classified as pseudoplastic fluids.

## 1. INTRODUÇÃO

Define-se por creme de leite produto lácteo relativamente rico em gordura retirada do leite por procedimento tecnologicamente adequado, apresentado na forma de uma emulsão de gordura em água (BRASIL, 1996; FDA, 1977; CODEX, 1976). Durante o seu processo de industrialização, o creme de leite passa pelas etapas de centrifugação, homogeneização e tratamento térmico (MATSUMIYA et al., 2017). O processo de homogeneização objetiva a redução e a padronização do diâmetro dos glóbulos de gordura (FOX; McSWEENEY, 1998; WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006), para valores de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ , ou menores (HARDHAM, IMISON, FRENCH, 2000); além disso, a homogeneização do material pode promover mudanças na estrutura das proteínas do leite (CANO-RUIZ; RICHTER, 1997).

O desenvolvimento de novos parâmetros tecnológicos de homogeneização permite a melhoria da qualidade do creme de leite, uma vez que o emprego de altas pressões de homogeneização resulta em uma expressiva redução do diâmetro dos glóbulos de gordura, tornando-os menores e mais estáveis, e modificando as propriedades viscoelásticas dos fluidos (DUMAY et al., 2013). Dependendo do nível de pressão de homogeneização, do tempo de processo e da temperatura, é possível observar a desnaturação das proteínas do soro do leite e a solubilização das micelas, que resulta em uma associação das proteínas aos glóbulos de gordura do leite, influenciando na viscosidade, viscoelasticidade, cremosidade e, em alguns casos, na gelatinização dos produtos lácteos, sendo que esta última característica pode ser considerada um defeito de fabricação (DONSI; FERRARI; MARESCA, 2011).

A melhoria da estabilidade dos produtos lácteos é aprimorada com o uso da homogeneização associada à adição de biopolímeros (polissacarídeos ou gomas). Polissacarídeos ou gomas são comumente adicionados em derivados lácteos como agentes espessantes, estabilizantes e/ou gelificantes, gerando um produto final com boa estabilidade e consistência, aumentando a viscosidade e prevenindo a ocorrência de sinérese (ÜNAL; METIN; IŞIKLI, 2003). No creme de leite processado pelo tratamento térmico *ultra high*

*temperature* (UHT) permite-se a adição de até 0,5 % (m·m<sup>-1</sup>) no produto final de agente espessante e/ou estabilizante (BRASIL, 1996; FDA, 1977). O tratamento térmico UHT pode promover alterações estruturais na conformação das proteínas lácteas e na estrutura dos glóbulos de gordura, interferindo na estabilidade final do produto (DUNKLEY; STEVENSON, 1987), e nesse caso, a utilização de agentes espessantes e/ou estabilizantes poderia contribuir para a manutenção da qualidade de tais produtos.

Apesar da vasta literatura científica sobre o efeito da pressão de homogeneização na estrutura dos glóbulos de gordura do leite, poucos trabalhos discutem o efeito combinado da pressão e da utilização de biopolímeros sobre a qualidade do creme de leite UHT; principalmente utilizando uma pressão de 80 MPa, não usual para a indústria. Assim, este trabalho objetivou avaliar o efeito de dois níveis de pressão de homogeneização e da adição de celulose microcristalina, goma locusta e goma xantana, frente a estabilidade da emulsão e as propriedades reológicas de creme de leite UHT com 15 % m·v<sup>-1</sup> de gordura.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Creme de Leite UHT**

Existem diversas categorias de cremes de leite reconhecidos pela legislação, estes produtos têm características variadas que dependem do tipo de processo de fabricação. Em termos de composição, cremes de leite se diferenciam principalmente quanto ao teor de matéria gorda (STEPHANI et al., 2011). Há também a influência do grau de dispersão dos glóbulos de gordura, afetado pelo processo de homogeneização. Ambas características, de dispersão e teor de gordura vinculadas ao creme de leite são determinantes quanto a funcionalidade e as propriedades reológicas e sensoriais do produto final (HOFFMANN; RUBNER-INSTITUT, 2016).

A demanda por alimentos com maior vida de prateleira resultou na utilização do processo de ultra alta temperatura na fabricação de creme de leite (HOFFMANN; RUBNER-INSTITUT, 2016). O creme de leite UHT (*ultra high temperature*), ou creme de leite longa vida, é aquele que foi submetido ao tratamento de ultra alta temperatura, processado em um binômio

tempo/temperatura de 130 a 150 °C por 2 a 4 segundos, envasado assepticamente em embalagens esterilizadas e hermeticamente fechadas. Possui um teor médio de gordura, variando entre 10-19,9 % (m/m), quando denominado creme de leite leve, e creme, com 20-40 % (m/m) de matéria gorda. Este produto pode ser adicionado de agentes espessantes e/ou estabilizantes e sais estabilizantes em uma quantidade não superior a 0,5 % e 0,2 % (m/m), respectivamente (BRASIL, 1996).

O processamento de creme de leite UHT (Figura 1) inicia-se pela etapa de desnate, ou separação, realizada em escala industrial por meio da aplicação de força centrífuga ao leite. Para facilitar o processo de separação da gordura do leite, bem como evitar danos aos glóbulos de gordura, a centrifugação é realizada entre 40-50 °C. Segue-se pelas etapas de padronização do teor de gordura desejado, tratamento UHT, homogeneização e envase asséptico (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006).

Durante o processo de fabricação e armazenamento, o creme de leite pode passar por alguns fenômenos de desestabilização coloidal, como a coalescência e a floculação. Os métodos de homogeneização e tratamento térmico tem sido aplicado há anos na indústria de laticínios, porém, enquanto a homogeneização visa uma melhoria na estabilidade do produto, por meio da redução do tamanho dos glóbulos de gordura, o tratamento térmico aplicado pode causar a sua desestabilização, dependendo da severidade e duração do processo (LIANG et al., 2013).

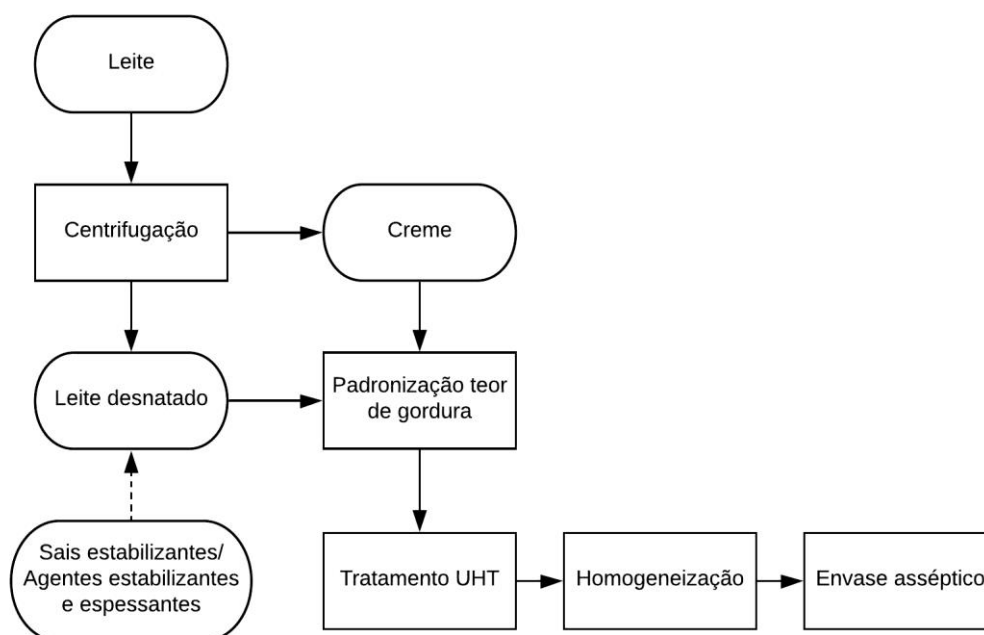


Figura 1. Processamento creme de leite UHT

## 2.2. Homogeneização

### 2.2.1. Processo de homogeneização

Os homogeneizadores são empregados na indústria de lácteos desde o século 20 (DIELS et al., 2004), desenvolvidos para aprimorar as propriedades do produto, como a cor, consistência, sabor, cremosidade e estabilidade (KÖHLERA; SCHUCHMANN, 2011; DICKINSON; STAINSBY, 1988). O princípio básico da homogeneização consiste na desintegração dos glóbulos de gordura originais, isto é possível por uma contribuição de forças que correm no decorrer do processo: cisalhamento, turbulência e cavitação. Além disso, a eficiência da homogeneização vai depender das condições de operação do homogeneizador, como a pressão e temperatura que o equipamento atua (WILBEY, 2011).

Os homogeneizadores utilizados no processamento de leite e produtos lácteos normalmente operam a uma temperatura de aproximadamente 60 °C (PAQUIN, 1999). A temperatura do processo deve ser superior à do ponto de fusão da gordura do leite, acima de 40 °C, para garantir a mobilidade da gordura formar novos glóbulos, conseqüentemente, melhorar a dispersão dos

glóbulos de gordura e a eficiência da homogeneização (MARZO; BARBANO, 2016; WILBEY, 2011).

A pressão empregada no processo objetiva fornecer a força necessária que permita a passagem do leite, creme ou outro produto através de uma válvula homogeneizadora (PATRIGNANI; LANCIOTTI, 2016; DUMAY et al., 2013; WILBEY, 2011; FLOURY; LEGRAND; DESRUMAUX, 2004). Para a homogeneização de leite e derivados lácteos geralmente utiliza-se pressões entre 15-30 MPa. Outras tecnologias estudadas podem chegar a níveis de pressão de homogeneização entre 350-400 MPa (DUMAY et al., 2013; WILBEY, 2011), até acima de 400 MPa. Pressões de homogeneização elevadas induzem a uma expressiva redução de tamanho do diâmetro dos glóbulos de gordura e contribuem nas propriedades funcionais do produto final (DONSÌ; FERRARI; MARESCA, 2011). Pela Figura 2 observa-se que a homogeneização a menores pressões reduz parcialmente os glóbulos de gordura, enquanto pressões de homogeneização superiores resultam em glóbulos menores e igualmente dimensionados (FUCÀ; IMPOCO; LICITRA, 2013).

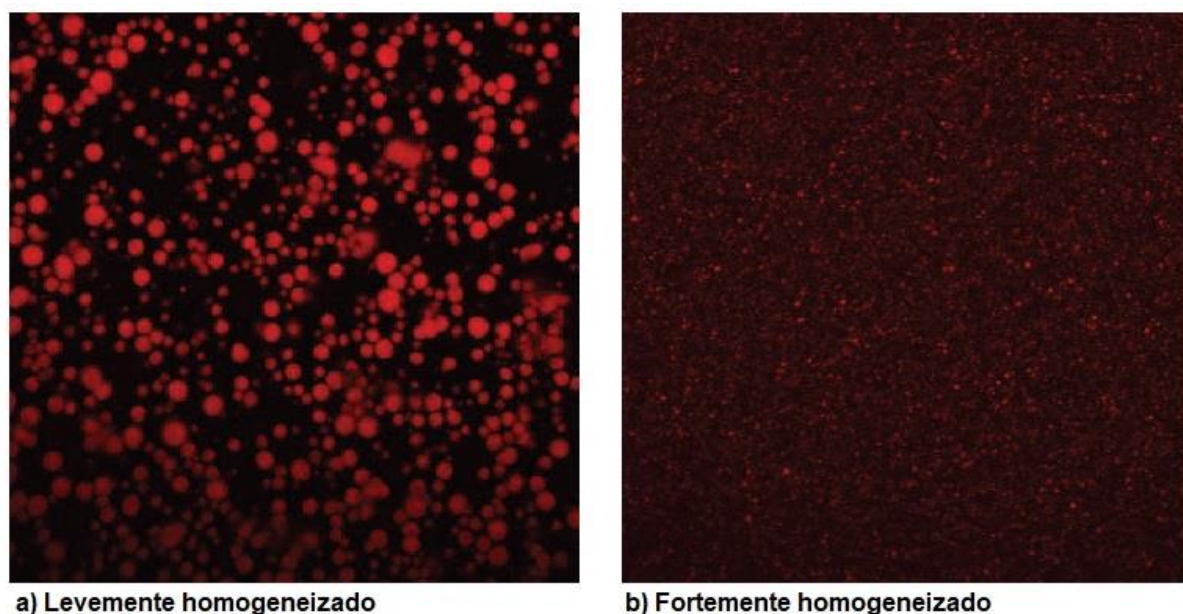


Figura 2. Micrografia confocal de amostras de leite sujeitas a diferentes tratamentos de homogeneização

Fonte: Adaptado de Fucà, Impoco e Icitra (2013).

### 2.2.2. Efeito da homogeneização na estabilidade de produtos lácteos

O principal efeito da homogeneização é a redução do tamanho dos glóbulos de gordura do leite. Durante este processo os glóbulos de gordura são quebrados em finas gotas lipídicas, prevenindo a separação do creme (MULDER; WALSTRA, 1974). Glóbulos de gordura menores reduzem a ocorrência de fenômenos de agregação, como coalescência e floculação, resultando em um produto mais estável, com maior vida de prateleira (MICHALSKI; JANUEL, 2006; WILBEY, 2011).

Porém, a redução do tamanho dos glóbulos de gordura gera um aumento significativo da área interfacial entre as fases gordurosa e aquosa, tornando o material da membrana nativa insuficiente para cobrir a superfície dos novos glóbulos formados (WALSTRA; WOUTERS; GEURTS, 2006). Com o intuito de reduzir a tensão interfacial entre as fases contínua e gordurosa, causada pelo aumento expressivo da área interfacial dos glóbulos de gordura, as proteínas do leite, principalmente as caseínas adsorvem-se a nova membrana dos glóbulos (PAQUIN, 1999).

Além da redução da tensão interfacial entre as fases contínua e gordurosa, a adsorção das proteínas do leite agrega forças de repulsão que contribuem para impedir a ocorrência de fenômenos de agregação, mantendo os glóbulos de gordura distantes uns dos outros, reduzindo a sinérese. Por isso, o aumento da estabilidade da emulsão não corresponde somente ao efeito da redução do tamanho do diâmetro dos glóbulos de gordura, mas também ocorre pela adsorção de proteínas do leite na superfície destes glóbulos (MICHALSKI; SAINMONT, 2002).

### 2.3. Hidrocoloides

Um melhor desempenho da estabilidade dos produtos lácteos pode ser aprimorado com o uso da homogeneização associada ao emprego de polímeros biológicos (DUNKLEY; STEVENSON, 1987). Os Hidrocoloides ou gomas são um grupo diverso de biopolímeros, constituídos majoritariamente por polissacarídeos, amplamente aplicados na indústria de alimentos pela capacidade de controlar e aprimorar propriedades reológicas e sensoriais de produtos (WILLIAMS, 2016). São considerados compostos hidrofílicos, devido

à forte presença grupos hidroxila e pela capacidade de produzir dispersões, exibem características de coloide, por este motivo, são designados “hidrocoloides” (SAHA; BHATTACHARYA, 2010).

Estes materiais atuam no aprimoramento de inúmeras funções em sistemas alimentares, por isso, é visto um crescente aumento da utilização de hidrocoloides na indústria de alimentos. Apesar de ser permitida a adição apenas de pequenas concentrações de biopolímeros aos alimentos, verifica-se uma influência expressiva destes compostos sobre as características de alimentos (WILLIAMS; PHILLIPS, 2009), agindo no aumento da viscosidade, estruturação de gel, controle de cristalização, inibição de sinérese, melhoria da textura e estabilidade física dos produtos (WILLIAMS; PHILLIPS, 2009; DICKINSON, 2003; GARTI; REICHMAN, 1993).

Em derivados lácteos as razões em utilizar hidrocoloides estão principalmente relacionadas a melhoria da estabilidade e textura destes produtos (SYRBE; BAUER; KLOSTERMEYER, 1998). A estabilidade é aprimorada pelo aumento da viscosidade, diminuição da velocidade de separação fases, e/ou através de interações favoráveis entre os diferentes componentes da matriz láctea com os hidrocoloides adicionados (CLARK et al., 2009). Em creme de leite UHT permite-se a adição de diversos biopolímeros, provenientes de diferentes fontes (BRASIL, 1996), os quais podem atuar como agentes estabilizantes, emulsificantes, espessantes e gelificantes, modificando a estabilidade e propriedades reológicas do produto final.

### 2.3.1. Celulose microcristalina (MCC)

A celulose possui em sua estrutura regiões amorfas e cristalinas que podem ser isoladas por meios mecânicos, biológicos ou químicos para a produção de diversos ingredientes incluindo a celulose microcristalina (HABIBI; LUCIA; ROJAS, 2010). Com propriedades físico-químicas únicas, as celulosas cristalinas oferecem excelentes características funcionais ao produto, e por isso são capazes de aprimorar propriedades reológicas, térmicas e mecânicas de uma variedade de materiais e matrizes alimentícias (HAMID; CHOWDHURY; KARIM, 2014). Entre as várias formas da celulose

que são consideradas cristalinas, apenas a celulose microcristalina teve sucesso em sua comercialização, seja apresentada pura, em pó ou coprocessada juntamente com um dispersante hidrofílico para produção da celulose microcristalina coloidal (Figura 4) (JIA et al., 2014).

Definida como um polímero linear, a celulose é um polissacarídeo composto por dezenas de milhares de unidades de glicose unidas entre si por ligações glicosídicas  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4). Como trata-se de um derivado da celulose, estruturalmente a celulose microcristalina também é composta por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4), resultando em uma cadeia polimérica linear de menor comprimento (Figura 3) (NSOR-ATINDANA et al., 2017; TRACHE et al., 2016). Apesar de ter em sua composição diversas moléculas de glicose, a celulose microcristalina é pouco solúvel em água devido a sua cristalinidade. O grau de cristalização é uma característica muito importante que difere a celulose microcristalina da celulose mãe, ademais, esta propriedade influencia na capacidade de estabilização da emulsão (NSOR-ATINDANA et al., 2017).

Na indústria de alimentos a celulose microcristalina é aplicada como agente estabilizante, emulsificante e gelificante (TRACHE et al., 2016). A estabilização de sistemas alimentícios utilizando a celulose microcristalina ocorre pelo seu caráter anfifílico, visto pela presença de grupos hidroxila livres na superfície do material (Figura 3), caracterizando a parte hidrofílica, enquanto a porção cristalina funciona como parcela hidrofóbica (KALASHNIKOVA et al., 2011). O mecanismo de estabilização de emulsões utilizando a celulose microcristalina se dá por meio da adsorção de partículas na interface óleo-água (DICKINSON, 2012), ou através da formação de redes bidimensionais ou tridimensionais (WINUPRASITH; SUPHANTHARIKA, 2015).

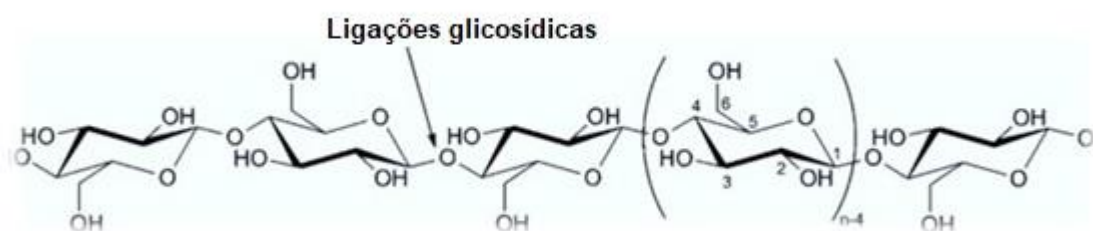


Figura 3. Estrutura química da celulose microcristalina

Fonte: Adaptado de Nsor-atindana et al., (2017)

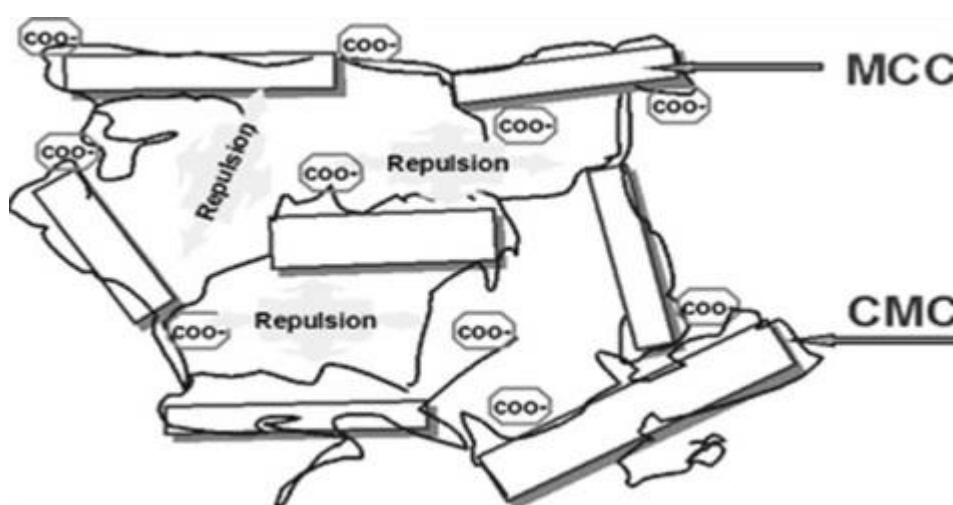


Figura 4. Celulose microcristalina coprocessada com carboximetilcelulose (NSOR-ATINDANA et al., 2017).

### 2.3.2. Goma locusta (LBG)

Proveniente do endosperma da semente do fruto da alfarrobeira (*Ceratonia siliqua L*), a goma locusta ou goma alfarroba é um polissacarídeo pertencente a classe das galactomananas (BARAK; MUDGIL, 2014). Os polissacarídeos originários de sementes têm grande vantagem de utilização pela facilidade de isolamento destes na forma pura e após tratamentos físicos ou químicos adequados podem ser empregados como ingredientes alimentares (KONTOGIORGOS, 2019). A obtenção da goma locusta é feita pela extração do endosperma da semente de alfarroba, o produto final geralmente contém impurezas, como polímeros celulósicos insolúveis e proteínas (SÉBASTIEN et al., 2014).

A goma locusta pertence à classe das galactomananas, assim como as gomas tara e guar. As galactomananas são heteropolissacarídeos compostos por uma cadeia principal de manose com ramificações de galactose, onde as manoses são unidas por ligações glicosídicas  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) enquanto a galactose se liga ao carbono 6 da manose por ligações  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 6) (Figura 5) (PRAJAPATI et al., 2013). Este grupo de gomas se diferencia estruturalmente pela proporção de manose/galactose. Entre as galactomananas a goma locusta possui a menor concentração de galactose, geralmente um resíduo de galactose para cada quatro unidades de manoses (KONTOGIORGOS, 2019)

O menor espaçamento entre os resíduos de galactose, ou seja, a maior proporção de galactose na estrutura das galactomananas confere impedimento estérico às associações de cadeias de galactose, resultando a elevada solubidade em água a estas gomas, inclusive em água fria. A goma locusta tem a menor solubidade entre as galactomananas, devido ao espaçamento superior entre as ramificações de galactose, por isso é solúvel somente através de aquecimento (WIELINGA, 2009), para ser totalmente dispersa precisa ser aquecida a aproximadamente 85 °C (BARAK; MUDGIL, 2014). Pela menor concentração de galactose em sua estrutura, e conseqüentemente menor solubilidade em água, a goma locusta é a galactomanana que possui o maior poder gelificante, com forte tendência em formar gel (CHEN et al., 2018; DUNSTAN et al., 2001;). Portanto, este biopolímero pode modificar propriedades reológicas de um sistema, capaz de aumentar o índice de consistência (K) e reduzir a separação macroscópica de fases do alimento (LO et al., 1996).

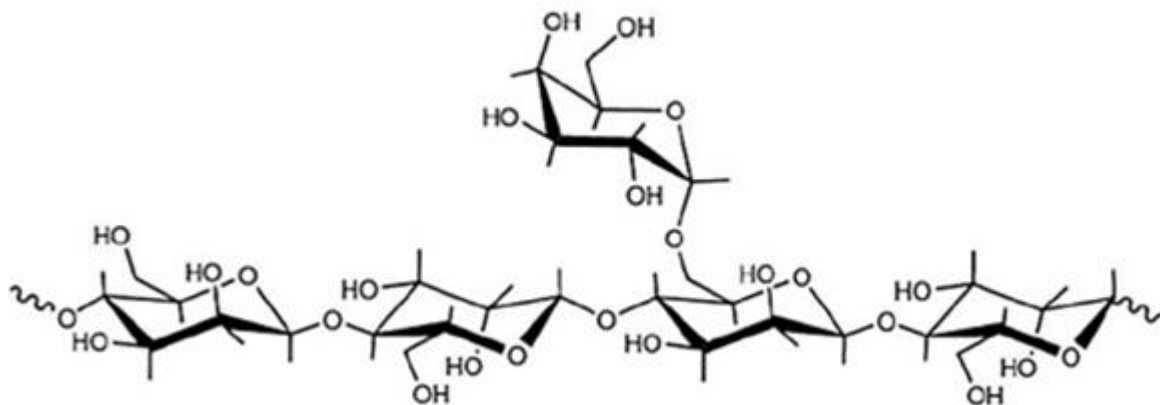


Figura 5. Estrutura química goma locusta (DIONÍSIO; GREHA, 2012).

### 2.3.3. Goma xantana (XG)

A goma xantana é um polissacarídeo originário da bactéria *Xanthomonas campestris* (PALANIRAJ; JAYARAMAN, 2011). Sua produção comercial iniciou-se em 1964, desde então foram realizadas inúmeras pesquisas confirmando suas propriedades não tóxicas. Com isso, em 1969 a goma xantana foi aprovada pelo FDA dos Estados Unidos para uso em aditivos alimentares (KATZBAUER, 1998). Desde o ano de 1965, a partir do Decreto de lei nº55.871, a legislação brasileira permite a adição deste polissacarídeo em alimentos (PRADELLA, 2006).

Estruturalmente a goma xantana é composta por resíduos de glicose unidos por ligações  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4), formando a cadeia principal (Figura 6). Na posição C(3) de cada resíduo de glicose há uma cadeia lateral trissacarídica, composta por uma manose acetilada ligada na posição O-3, pelo grupamento ácido glucurônico e uma manose terminal com um ácido pirúvico unido a um acetal (WANG et al., 2017; PALANIRAJ; JAYARAMAN, 2011; JANSSON et al., 1975)

Devido a suas propriedades reológicas, quando dispersa em meio aquoso, a goma xantana é capaz de produzir rapidamente uma solução viscosa e estável, mesmo em baixas concentrações (0,05 a 1,0 %) (LUVIELMO; SCAMPARINI, 2009). Por isso, é utilizada em alimentos como agente espessante, estabilizante e emulsificante (NIKNEZHAD et al., 2015).

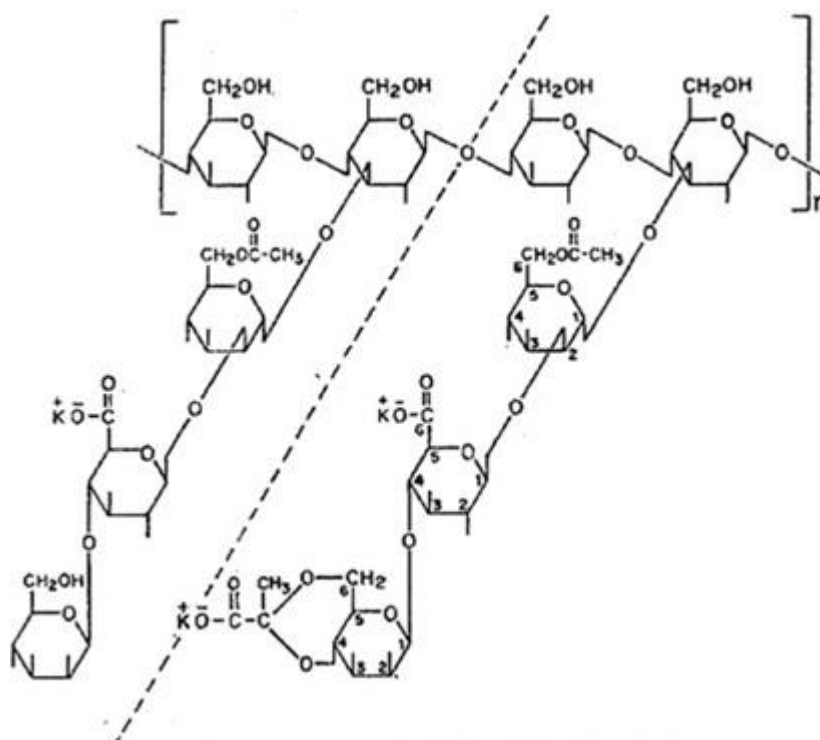


Figura 6. Estrutura química goma xantana

Fonte: Adaptado de Palaniraj e Jayaraman (2011)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em parceria entre os laboratórios de espectroscopia, microestrutura e microanálise do Núcleo de Espectroscopia e Estrutura Molecular (NEEM) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com os Laboratórios de Leite e Derivados (INOVALEITE) e de Embalagens de Alimentos (LABEM) da Universidade Federal de Viçosa. Para a produção dos cremes de leite utilizou-se leite integral pasteurizado com teor de gordura de aproximadamente 3,0 % m·v<sup>-1</sup>, proveniente do Instituto de Laticínios Cândido Tostes de Juiz de Fora - MG, creme de leite pasteurizado, teor de gordura mínimo de 35 % m·v<sup>-1</sup>, citrato de sódio, celulose microcristalina, goma locusta e goma xantana (Tate & Lyle Gemacom Tech).

O planejamento do experimento consistiu em oito tratamentos com duas repetições (Tabela 1). Assim, avaliaram-se cremes de leite UHT

submetidos a duas pressões de homogeneização (20 MPa ou 80 MPa), com ou sem a adição de hidrocolóides (celulose microcristalina, goma locusta e goma xantana).

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos submetidos nos cremes de leite UHT. (n=2)

Tratamento	Pressão de homogeneização (MPa)	Concentração hidrocolóide (%) (m·m <sup>-1</sup> )	Concentração de citrato de sódio (%) (m·m <sup>-1</sup> )
1. Control	20	-	0,1
2. Control	80	-	0,1
3. MCC	20	0,25	0,1
4. MCC	80	0,25	0,1
5. LBG	20	0,25	0,1
6. LBG	80	0,25	0,1
7. XG	20	0,25	0,1
8. XG	80	0,25	0,1

Control = Controle (sem adição de hidrocolóide), MCC = Celulose microcristalina, LBG = Goma locusta e XG = Goma xantana.

### 3.1. Processamento

A partir do leite integral pasteurizado foram preparados os oito tratamentos (Tabela 1). Inicialmente, adicionou-se citrato de sódio (0,1 g·100 g<sup>-1</sup>) em todas as parcelas. Nos tratamentos adicionados dos biopolímeros, dispersou-se à frio a concentração de 0,25 g·100 g<sup>-1</sup> dos hidrocolóides no leite, em seguida, estes leites foram utilizados nas padronizações dos teores de gordura dos cremes de leite. A padronização do teor de gordura dos cremes foi feita através de análises prévias de gordura do leite e creme de leite, determinadas pelo método de Gerber (ISO 17678), visando um teor de 15 % m·v<sup>-1</sup> de gordura para o produto final. Após à padronização, os cremes foram novamente submetidos a análise de gordura, confirmando o teor de gordura final esperado.

Posteriormente, os cremes de leite foram submetidos ao processo de homogeneização a 40 °C, com diferentes níveis de pressão (20 MPa ou 80 MPa) em homogeneizador de bancada (GEA Niro Soavi, modelo NS2006H), e ao processamento UHT a 135 °C · 4 s<sup>-1</sup>, em uma planta piloto Micro Thermics UHT/HTST com capela de envase asséptico. Ao final do processamento, cada tratamento foi envasado assepticamente, e estocado em temperatura controlada (25 °C), ao abrigo da luz.

As etapas de fabricação dos cremes de leite estão descritas pela Figura 7.

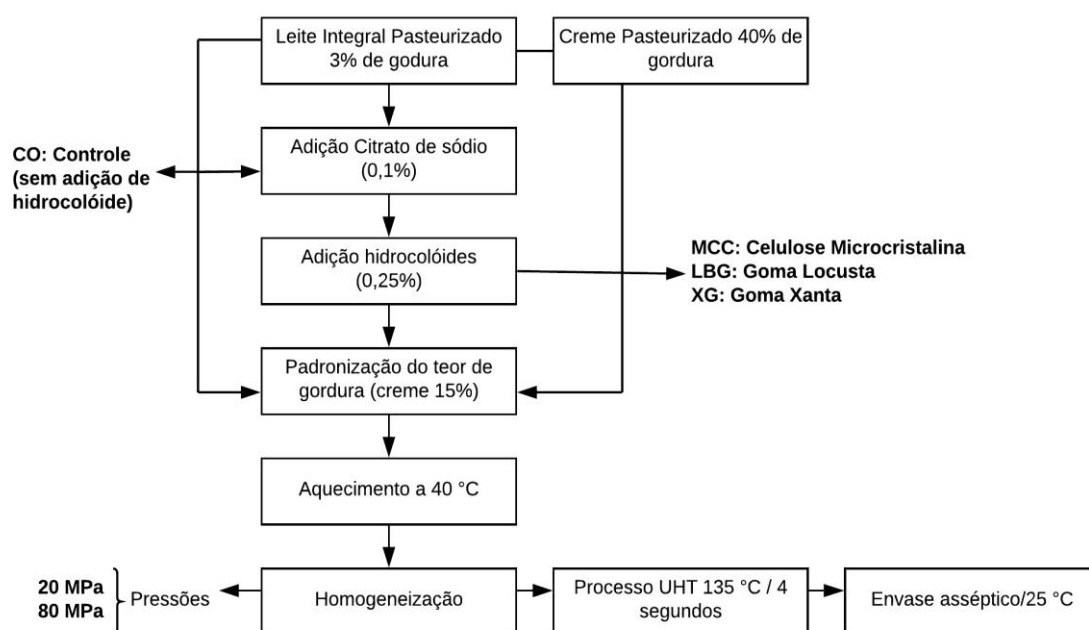


Figura 7. Delineamento do processamento dos cremes de leite UHT

## 3.2. Análise instrumental

### 3.2.1. Caracterização dos pós dos hidrocolóides

A primeira etapa do experimento foi caracterizar os hidrocolóides do ponto de vista espectral e morfológico, visando validar e identificar que realmente se tratava dos hidrocolóides utilizados como matéria-prima no processamento dos cremes de leite.

#### 3.2.1.1. Espectroscopia Raman

Os espectros dos hidrocolóides foram obtidos através de espectroscopia Raman. Para esta análise utilizou-se um espectrômetro RFS

100 FT-Raman Bruker equipado com um detector Ge empregando nitrogênio líquido como fluido de arrefecimento e excitado a 1064 nm a partir de um feixe de Nd:YAG laser. As amostras dos hidrocolóides, em cubetas de quartzo, foram incididas a um laser com potência de 200 mW e a radiação espalhada foi coletada a 180°. Para cada espectro coletou-se uma média de 512 varreduras, com resolução de 4 cm<sup>-1</sup> sobre uma variação entre 3000 cm<sup>-1</sup> a 400 cm<sup>-1</sup>. O software OPUS 6.0 (Bruker Optik, Ettlingen, Alemanha) foi empregado para a coleta dos dados analíticos. Visando evitar dúvidas relativas à posição das bandas vibracionais observadas, os espectros foram obtidos em duplicata.

#### 3.2.1.2. Microscopia eletrônica de varredura

Quanto a suas morfologias, as amostras dos pós dos hidrocolóides foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura (Hitachi TM 3000, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan).

#### 3.2.2. Estabilidade dos cremes de leite UHT

Para se ter uma ideia da estabilidade dos cremes de leite após o processamento, foram realizadas análises de potencial zeta ( $\zeta$ ) e percentual de estabilidade por meio de centrifugação.

##### 3.2.2.1. Potencial zeta ( $\zeta$ )

O potencial zeta ( $\zeta$ ) dos cremes foi determinado usando o Zetasizer Nano-S (Malvern Instrument, Worcestershire, UK). Para realização das análises, os cremes de leite UHT foram previamente diluídos numa proporção 1/1000, em água deionizada. As amostras diluídas foram injetadas em cubetas apropriadas para análise de potencial zeta e submetidas a um campo elétrico, aplicado por uma par de eletrodos. Estas análises foram realizadas com um período de 40 dias após a produção dos cremes de leite UHT, todos os valores foram medidos em duplicata a uma temperatura de 25 °C.

##### 3.2.2.2. Percentual de estabilidade da emulsão

As amostras dos cremes de leite com 40 dias de produção foram centrifugadas (Centrífuga de bancada, Nova Instruments). Aproximadamente 10 mL de cada emulsão foram colocadas em tubos de ensaio cônico graduados para centrifuga, e centrifugados a 1030 g por 15 min à temperatura

de 25 °C. A estabilidade da emulsão (ES) foi calculada pela equação 1 (HUANG, KAKUDA e CUI, 2001).

$$\% ES = \frac{A_f}{A_i} \times 100 \% \text{ (Eq.1)}$$

Sendo:

%ES = Percentual de estabilidade da emulsão.

Af = Altura da emulsão final.

Ai = Altura da emulsão inicial.

### 3.2.4. Avaliação reológica dos cremes de leite UHT

Realizou-se a caracterização reológica dos cremes por meio de um reômetro rotacional (Discovery Hybrid Rheometer 1, TA Instruments, The United States of America), equipado com uma geometria de placas paralelas (aço inoxidável, diâmetro = 25 mm; *gap* = 1mm), mantida a uma temperatura de  $25,0 \pm 0,1$  °C. As avaliações reológicas foram efetuadas com 40 dias após a produção dos cremes, em duplicata.

#### 3.2.4.1. Comportamento ao escoamento

As curvas de escoamento foram determinadas variando progressivamente a taxa de cisalhamento em três ciclos (1º ciclo ascendente, 2º ciclo descendente e 3º ciclo ascendente; 300 segundos em cada ciclo), entre 0,05 e 200 s<sup>-1</sup>. Após a inspeção visual dos reogramas obtidos nas curvas de escoamento, realizou-se o ajuste do modelo da Lei da Potência descrito na Equação 2, usando o programa SAS versão 9.3 (Statistical Analysis 9.3, 2012, SAS Institute Inc.), licenciado pela Universidade Federal de Viçosa.

$$\tau = K \cdot (\dot{\gamma})^n \text{ (Eq.2)}$$

Sendo: K = índice de consistência (Pa·s); n = o índice de comportamento (adimensional).

#### 3.2.4.2. Comportamento viscoelástico

A região de viscoelasticidade linear das emulsões foi determinada por varredura de deformação (0,01 a 10,0 %), sob uma frequência constante de 1 Hz. Em seguida, varreduras de frequência foram procedidas em frequências ( $\omega$ ) compreendidas entre 0,1 e 10 Hz, sob uma deformação fixa de 0,1 %. Os resultados foram apresentados em termos de módulo de armazenamento ( $G'$ ), módulo de dissipação ( $G''$ ) e  $\tan(\delta)$ .

### 3.3. Análises estatísticas

Os dados foram analisados ao nível de 5 % de significância através de análise de variância (ANOVA), utilizando delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 x 2 (fator hidrocoloide 4 níveis, fator pressão 2 níveis), com duas repetições, totalizando 16 tratamentos. Os resultados foram analisados pelo software SAS versão 9.3 (Statistical Analysis System 9.3, 2012, SAS Institute Inc.), licenciado pela Universidade Federal de Viçosa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização dos hidrocoloides – MEV e Espectroscopia Raman

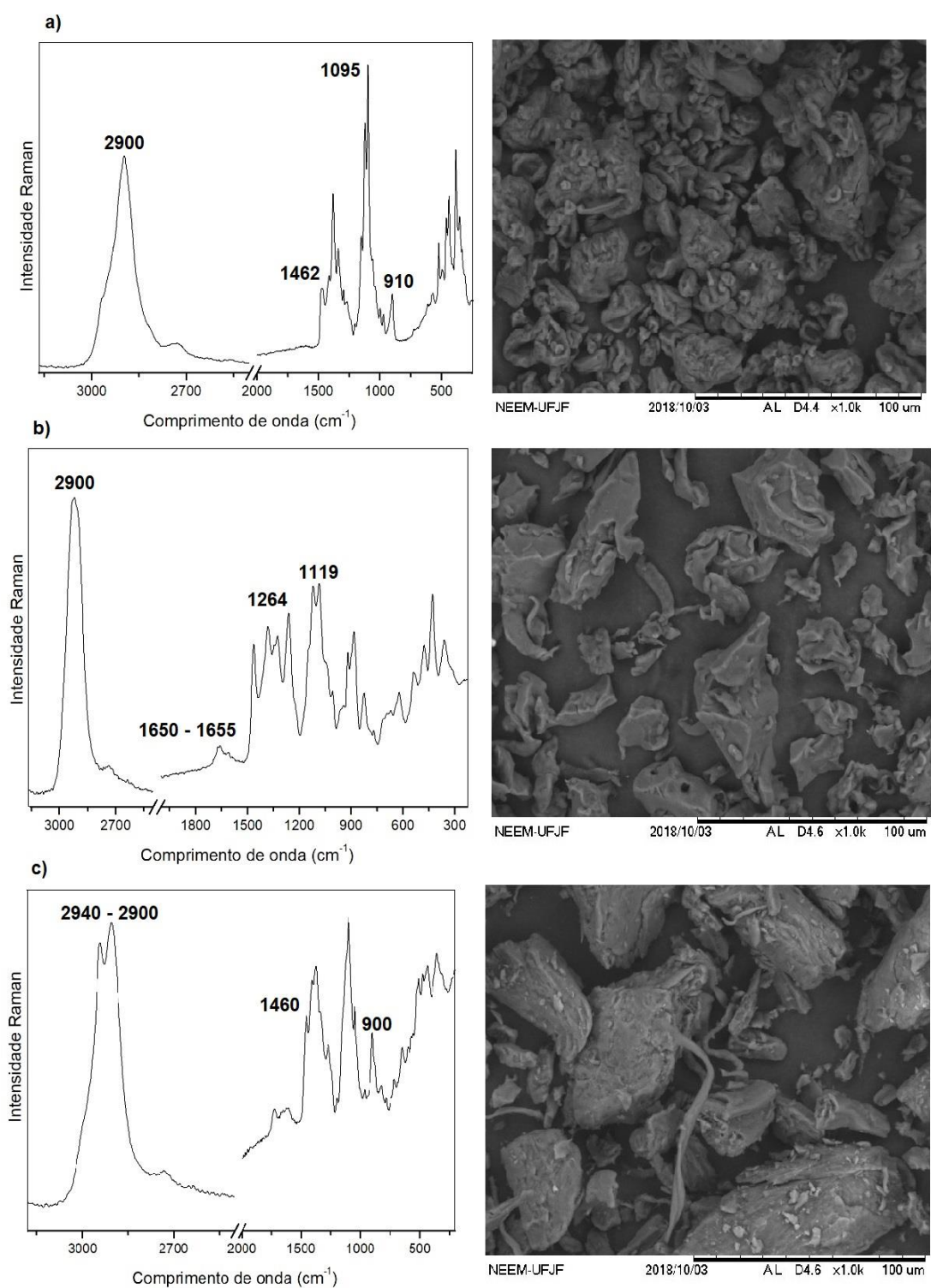


Figura 8. Caracterização dos hidrocoloides por espectroscopia Raman e Microscopia eletrônica de varredura. Sendo a) Celulose microcristalina (MCC); b) Goma locusta (LBG); c) Goma Xantana (XG)

A identificação e validação dos hidrocoloides utilizados como matéria-prima neste trabalho foi determinada através de imagens de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia Raman (Figura 8).

De um modo geral os espectros Raman de gomas/hidrocoloides são identificados por fortes características em torno do comprimento de onda de  $1400\text{ cm}^{-1}$  e no intervalo entre  $800\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ , exibindo fracas dispersões na faixa de  $1500\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$  (EDWARDS et al., 1998). As bandas marcadoras mais intensas ocorrem em torno de  $1100\text{ cm}^{-1}$ , na região das ligações C–C e ligações simples C–O. Os grupos metileno são identificados perto de  $1480\text{ cm}^{-1}$ , grupos metil próximos a  $2900\text{ cm}^{-1}$  e grupos OH entre  $3100$  e  $3600\text{ cm}^{-1}$  (WORKBENCH, 2016). Já os modos de deformação do anel, ditos como as bandas mais fracas, ocorrem perto de  $150\text{-}500\text{ cm}^{-1}$  (EDWARDS et al., 1998).

As primeiras bandas observadas no espectro da celulose microcristalina (MCC) (Figura 8 – a), estão em torno de  $150$  a  $500\text{ cm}^{-1}$ . A banda perto de  $1481\text{ cm}^{-1}$  pode ser atribuída ao grupo metileno da estrutura da MCC. Além disso, essa região é indicativa de cristalinidade (SZYMAŃSKA-CHARGOT; CYBULSKA; ZDUNEK, 2011; SCHENZEL; FISCHER, 2004). A banda maior a  $1095\text{ cm}^{-1}$ , com forma pontiaguda também sugere cristalinidade do material. A partir de  $2500\text{ cm}^{-1}$  são vistas duas bandas, uma pouco expressiva em  $2750\text{ cm}^{-1}$  e uma mais intensa perto de  $2900\text{ cm}^{-1}$ . De acordo com os pesquisadores Szymańska-chargot, Cybulska e Zdunek, (2011), essas bandas acima de  $2500\text{ cm}^{-1}$  acontecem por vibrações de alongamento de CH, definida por Workbench (2016), como região de mudanças nas intensidades de estiramento.

A identificação da goma locusta (LBG) por espectroscopia Raman é feita principalmente pela presença da banda característica de resíduo de material proteico, visualizada no espectro em  $1655\text{-}1660\text{ cm}^{-1}$  e  $1264\text{ cm}^{-1}$  (EDWARDS et al., 1998). Os resultados (Figura 8 – b) mostram a presença destas bandas de confirmação para a LBG, próximas a  $1655\text{-}1264\text{ cm}^{-1}$ . Observa-se também regiões de ligação C–C em torno de  $1119\text{ cm}^{-1}$  e a presença de bandas que são atribuídas a trechos assimétricos de  $\text{CH}_2$  próximo a  $2900\text{ cm}^{-1}$ .

As principais bandas obtidas no espectro da goma xantana (XG), estão similares aquelas descritas na literatura (YUEN et al., 2009; MIYUKI et al., 2016). São observadas na Figura 8 – c, bandas intensas perto de  $2900\text{ cm}^{-1}$ , atribuídas pelas vibrações de alongamento de CH. Entre  $1300\text{-}1460\text{ cm}^{-1}$  tem-se bandas características de compostos carbonílicos e próximo a  $900\text{ cm}^{-1}$  banda de alongamento de COH.

Os resultados encontrados (Figura 8) apresentaram-se condizentes as principais bandas marcadoras identificadas por outros autores para os hidrocoloides estudados neste trabalho (MIYUKI et al., 2016; WORKBENCH, 2016; SZYMAŃSKA-CHARGOT; CYBULSKA; ZDUNEK, 2011; YUEN et al., 2009; EDWARDS et al., 1998). Portanto, a partir da análise espectral destes biopolímeros, foi possível caracterizar e validar os hidrocoloides adicionados aos cremes de leite UHT.

#### 4.2. Estabilidade dos cremes de leite UHT

Tabela 2 - Parâmetros de estabilidade dos cremes de leite UHT

Tratamento	Pressão homogeneização (MPa)	Potencial zeta (mV)	ES (%)
Control	20	-37,57	69,00
Control	80	-29,55	83,00
MCC	20	-31,07	79,00
MCC	80	-28,08	78,00
LBG	20	-30,02	65,00
LBG	80	-28,57	81,00
XG	20	-37,47	95,20
XG	80	-30,27	30,27

ES (%) = Percentual de estabilidade da emulsão. Control = Controle (sem adição de hidrocolóide), MCC = Celulose microcristalina, LBG = Goma locusta e XG = Goma xantana.

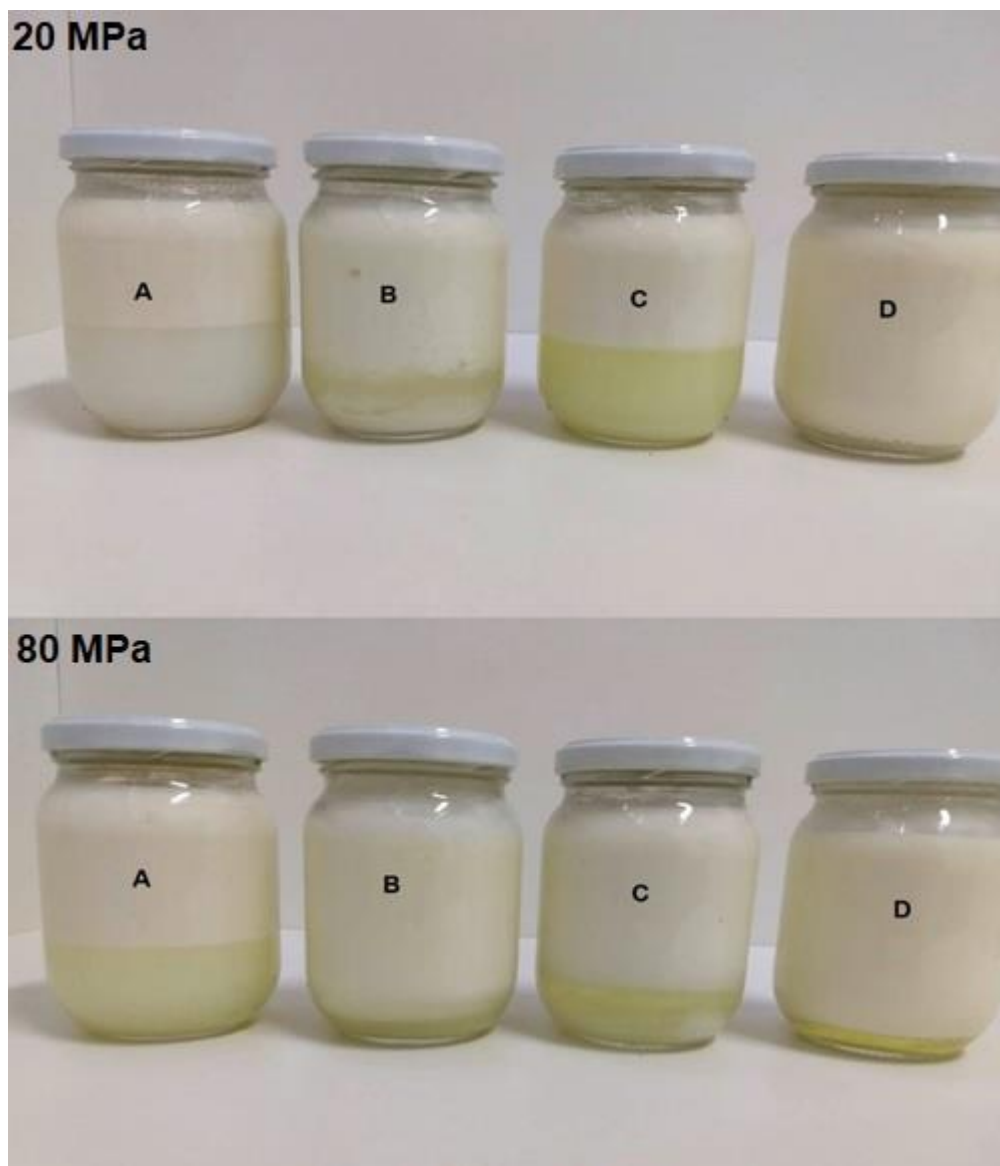


Figura 9. Imagem dos cremes de leite UHT com 40 dias de produção. A = controle (sem adição de hidrocolóide), B = creme adicionado de MCC (celulose microcristalina), C = creme adicionado de LBG (goma locusta), D = creme adicionado de XG (goma xantana)

Os resultados indicados na Tabela 2, visualmente observados pela Figura 9, apresentam a estabilidade dos cremes de leite UHT, considerando um período de 40 dias de produção.

O potencial zeta é definido pela diferença de potencial elétrico entre a superfície da partícula coloidal e sua suspensão líquida. O glóbulo de gordura do leite antes da homogeneização tem valores de potencial zeta entre -13 a -

14 mV (MICHALSKI; SAINMONT; BRIARD, 2002), após a homogeneização aproxima-se de -20 mV (DALGLEISH, 1984). Este aumento é justificado pela adsorção de proteínas aos glóbulos de gordura do leite, as quais elevam a quantidade de cargas negativas na superfície da membrana dos glóbulos, e com isso, geram forças eletrostáticas, que, em conjunto com outras forças, como repulsão estérica, impedem a aproximação dos glóbulos de gordura do leite, reduzindo a ocorrência de fenômenos de agregação, como coalescência e floculação. Em resumo, quando o potencial zeta dos glóbulos de gordura é alto (em módulo), as forças repulsivas excedem as forças de atração, resultando em um sistema menos instável (LU; GAO, 2010).

A aplicação de maior pressão de homogeneização resultou em diminuição do potencial zeta dos glóbulos de gordura para todos os sistemas (Tabela 2). O aumento em módulo do potencial zeta é acarretado pela adsorção de proteínas do soro, e micelas de caseína na superfície dos glóbulos de gordura (BERTON et al., 2012). Porém a quantidade de proteína disponível para atuar como tensoativo é limitada. A aplicação de pressão de homogeneização 4 vezes maior proporciona a formação de glóbulos de gordura menores, conseqüentemente ocorre um aumento substancial da área interfacial da gordura dispersa. Como resultado, há uma maior área interfacial para ser coberta por uma mesma quantidade de proteína, sendo que nem sempre é possível o recobrimento completo dos glóbulos de gordura, tal fenômeno pode ter sido responsável pela diminuição em módulo do potencial zeta nos sistemas tratados com maior pressão de homogeneização.

Porém, existem outros mecanismos de estabilização além da repulsão eletrostática a serem considerados. Assim, as medidas de potencial zeta podem apenas predizer acerca da estabilização eletrostática da emulsão, sendo necessário a verificação de outros fatores para garantir que uma emulsão seja de fato mais estável cineticamente que outra (DRAPALA; MULVIHILL; MAHONY, 2018). Roland e seus colaboradores (2003), estudaram o efeito de diferentes concentrações de surfactantes em emulsões de óleo em água e puderam observar que as emulsões visualmente mais estáveis exibiram o menor potencial zeta. Segundo estes autores, as diferenças absolutas nos valores do potencial zeta devem ser de pelo menos

10 mV, para permitir a previsão distinta da estabilidade entre as emulsões. Este estudo é comparativo aos resultados apresentados no presente trabalho, pois os valores de potencial zeta observados (Tabela 2) encontram-se em uma faixa de -28,05 mV a -37,57 mV, portanto, não foram exibidas diferenças iguais ou superiores a 10 mV, inferindo que neste caso o potencial zeta também não contribuiu para explicar a distinção de estabilidade das emulsões vista entre os cremes de leite UHT. O tratamento controle (sem adição de hidrocolóides) e os cremes adicionados de goma xantana, apresentaram os maiores valores absolutos de potencial zeta, em ambos níveis de pressão de homogeneização, sugerindo uma maior estabilidade dessas emulsões. Contudo, observa-se uma grande diferença entre a estabilidade dos mesmos (Tabela 2 e Figura 9), indicando a provável presença de outras forças de estabilização aos cremes adicionados de goma xantana.

Os cremes de leite UHT processados com a goma xantana obtiveram os melhores resultados de percentual de estabilidade de emulsão (Tabela 2) e foram visualmente mais estáveis (Figura 9), no período analisado. A goma xantana é capaz de atuar como agente emulsificante e estabilizante em emulsões (DICKINSON, 2009), além disso, devido a suas propriedades reológicas, gera altas viscosidades em um sistema, mesmo em baixas concentrações (NIKNEZHAD et al., 2015). De acordo com a Lei de Stokes (Eq.3), tem-se que o aumento da viscosidade melhora estabilidade da emulsão, pois, reduz a velocidade de separação de fases. Estas características podem ter contribuído para a melhor de estabilidade dos cremes adicionados de goma xantana.

$$v_s = \frac{d^2 \cdot \Delta\rho \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (\text{Eq.3})$$

Sendo:  $v_s$  = Velocidade de separação de fases;  $d$  = Diâmetro da partícula;  $\Delta\rho$  = Diferença de densidade entre a partícula e a fase contínua;  $g$  = Aceleração da gravidade e  $\mu$  = Viscosidade.

### 4.3. Avaliação do comportamento reológico das emulsões

#### 4.3.1. Ensaio dinâmico-oscilatório - varreduras de frequência

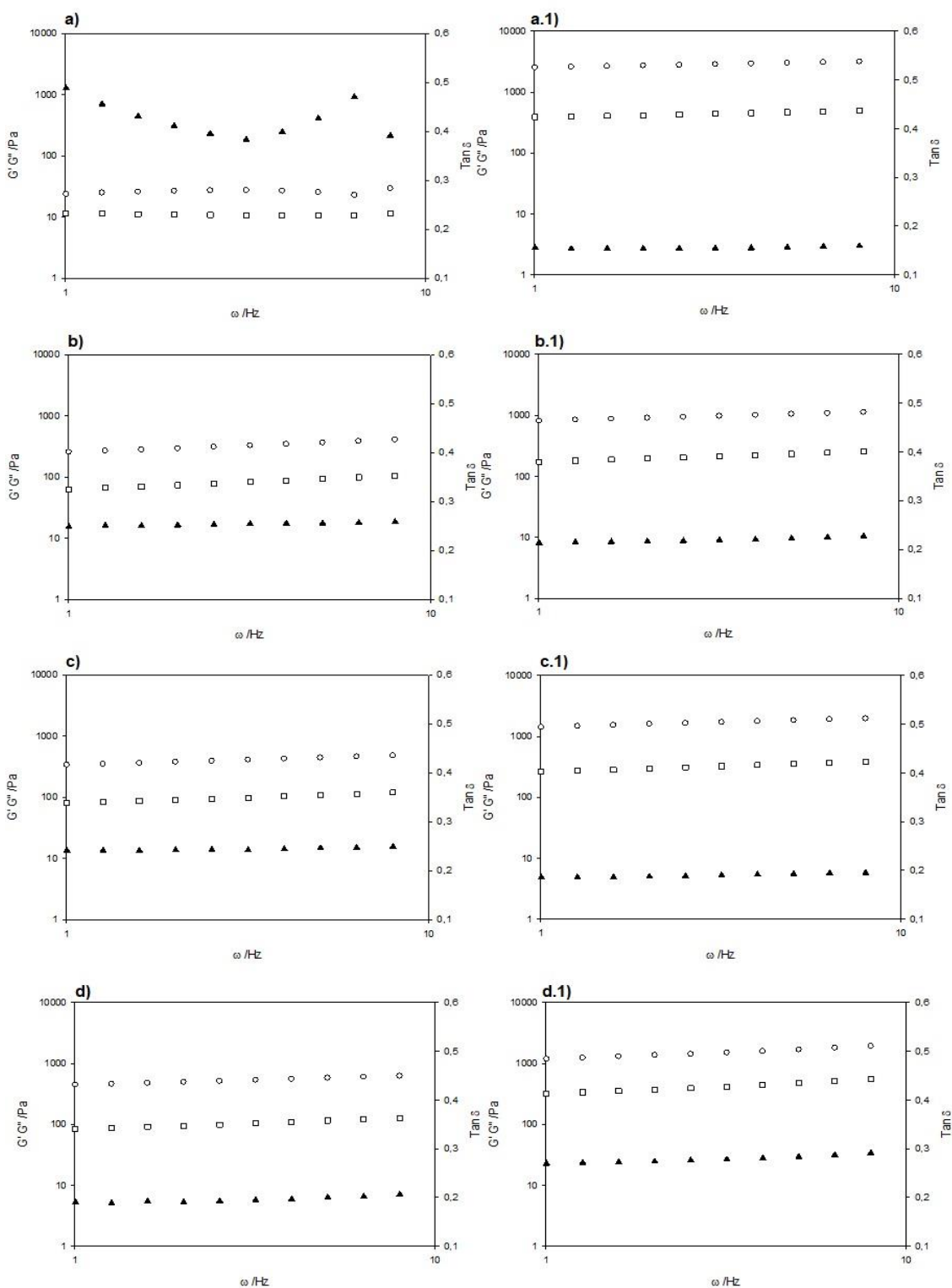


Figura 10. Varreduras de frequência dos cremes de leite UHT. Sendo:  $G'$  e  $G''$  e  $\text{Tan } \delta$  em varreduras de frequência dos cremes de leite UHT. a = Controle (sem adição de hidrocolóide) 20 MPa, a.1 = Controle (sem adição de

hidrocolóide) 80 MPa; b = creme de leite adicionado de celulose microcristalina (MCC) 20 MPa, b.1 = creme de leite adicionado de celulose microcristalina (MCC) 80 MPa; c = creme de leite adicionado de goma locusta (LBG) 20 MPa, c.1 = creme de leite adicionado de goma locusta (LBG) 80 MPa; d = creme de leite adicionado de goma xantana (XG) 20 MPa, d.1 = creme de leite adicionado de goma xantana (XG) 80 MPa.  $G'$  (O),  $G''$  (□) e  $\tan \delta$  (▲).

Os resultados de viscoelasticidade obtidos nos testes reológicos dos cremes UHT são apresentados na Figura 10. Indicando os parâmetros  $G'$  (módulo de armazenamento ou módulo elástico),  $G''$  (módulo de perda ou módulo viscoso) e  $\tan \delta$  (tangente de perda). O  $G'$  e  $G''$  apontam a capacidade que o material tem em armazenar e dissipar energia, respectivamente, e a  $\tan \delta$  expressa a energia dissipada e armazenada no material em um ciclo de deformação (DODERO et al., 2019). A relação entre o  $G'$  e  $G''$  e a  $\tan \delta$  é vista pela equação 4:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \text{ (Eq.4)}$$

As medições oscilatórias foram determinadas em uma faixa de frequência de 0,1 a 10 Hz. Os valores de frequência abaixo de 1 Hz não são apresentados, porque os módulos mostraram valores inconsistentes devido à perda de sustentabilidade do material em valores abaixo a este. Os cremes de leite se apresentaram independentes a frequência aplicada, visto que com a elevação da frequência os valores de  $G'$ ,  $G''$  e tangente  $\delta$  permaneceram constantes, exceto para o tratamento controle a 20 MPa (Figura 10 – a), onde é possível visualizar uma pequena oscilação do valor de  $G'$  perto da frequência de 10Hz, e uma maior oscilação da  $\tan \delta$  na faixa de frequência analisada.

Como pode ser observado (Figura 10), independente da pressão de homogeneização aplicada e da adição ou não dos polissacarídeos aos tratamentos, os valores de  $G'$  foram superiores aos valores de  $G''$  para todos

os cremes de leite UHT. Valores superiores de  $G'$  conferem ao produto analisado características de gel, indicativo da formação de uma rede altamente estruturada e interconectada (SOUZA; GARCIA-ROJAS, 2017). O caráter elástico observado nos tratamentos também pode ser confirmado pelos resultados de  $\tan \delta < 1,0$  (RAO, 2014).

A pressão de homogeneização teve influência no aumento de ambos os módulos ( $G'$  e  $G''$ ), observada em todos os oito tratamentos (Figura 10). Porém para os cremes de leite tratados com pressão de homogeneização de 80 MPa os valores de  $\tan \delta$  foram menores, indicando que o  $G'$  teve um aumento de maior magnitude comparado com o aumento de  $G''$ . Portanto, os cremes de leite tratados com maior pressão de homogeneização exibiram características mais elásticas que os cremes submetidos a 20 MPa. Este aumento do caráter elástico foi mais expressivo para o tratamento controle (sem adição de hidrocolóide) e para o creme adicionado da LBG. Tal fato pode ser justificado pela alta capacidade da LBG em formar gel (HE et al., 2017), e pelos maiores valores de índice de consistência (K) observados na Tabela 3 para os cremes adicionados de LBG e para o tratamento controle (sem adição de hidrocolóide) na pressão de homogeneização 80 MPa.

#### 4.3.2. Comportamento ao escoamento

Tabela 3 - Parâmetros reológicos dos cremes de leite UHT ajustados ao modelo da Lei da Potência

Tratamento	Pressão		K (Pa·s)	n	R <sup>2</sup>
	homogeneização	MPa			
Control	20		0,52 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,969
Control	80		17,61 ± 1,38 <sup>b</sup>	0,44 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,977
MCC	20		0,84 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,39 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,996
MCC	80		6,22 ± 0,17 <sup>b</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,996
LBG	20		8,30 ± 0,62 <sup>a</sup>	0,36 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,968
LBG	80		21,00 ± 1,59 <sup>b</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,978
XG	20		1,66 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,999
XG	80		8,97 ± 0,13 <sup>b</sup>	0,32 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,998

Control = Controle (sem adição de hidrocolóide), MCC= Celulose microcristalina, LBG = Goma Locusta e XG = Goma Xantana. K= índice de consistência, n= índice de comportamento ao escoamento. As análises estatísticas foram feitas entre as pressões de 20 e 80 MPa, para cada tratamento separadamente. Letras iguais dentro das colunas não indicam diferença ao nível de 5 % de probabilidade pela ANOVA

Através dos dados de taxa de deformação e tensão de cisalhamento, os parâmetros reológicos dos cremes de leite foram ajustados pelo modelo da Lei da potência.

Observam-se na Tabela 2 valores de  $R^2$  entre 0,968 e 0,999 que demonstram um bom ajuste aos dados das curvas de escoamento dos diferentes cremes de leite UHT.

O índice de comportamento ao escoamento (n) apresentou valores entre 0,32 e 0,47 (Tabela 2), que são valores esperados em fluidos pseudoplásticos. Para fluidos não newtonianos, o índice de comportamento ao escoamento pode ter valores menores ou maiores que uma unidade. Em fluidos pseudoplásticos tem-se  $n < 1$ , e quanto mais baixo o valor de n, mais intenso é o comportamento pseudoplástico (MITSOULIS, 2010). A adição dos polissacarídeos e o aumento da pressão de homogeneização, de 20 MPa para 80 MPa não alterou o comportamento pseudoplástico do produto. Visto que, todos os tratamentos apresentaram valores de  $n < 1$ , e pelo teste estatístico realizado, a comparação entre o nível de pressão–hidrocolóide não obteve diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) em ambos cremes de leite UHT, acrescidos ou não de hidrocolóides. Este comportamento pseudoplástico pode ser explicado pelo aumento da taxa de deformação e alinhamento das moléculas presentes, que, como consequência reduzem a resistência ao escoamento (VÉLEZ-RUIZ; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997). Em estudos com creme de leite tratados a elevadas pressões de homogeneização pesquisadores também relataram este comportamento pseudoplástico, explicado devido às macromoléculas presentes no leite (proteínas), que sob o efeito da pressão tendem a se alinhar, resultando em uma diminuição da viscosidade (DONSI; FERRARI; MARESCA, 2011).

Na pressão de homogeneização de 20 MPa, comumente empregada na indústria de lácteos, os tratamentos adicionados de hidrocolóides apresentaram valores superiores de índice de consistência comparados ao creme controle (sem adição de hidrocolóide). Entre os polissacarídeos, o maior valor de índice de consistência (8,30 Pa·s) foi alcançado pela LBG. Sob o efeito da pressão de 80 MPa os valores de índice de consistência de ambos tratamentos aumentaram, logo, a maior redução do tamanho dos glóbulos de gordura a 80 MPa, teve influência no índice de consistência do produto final. Esse aumento foi observado principalmente para o tratamento controle (sem adição de hidrocolóide) e para a LBG (goma locusta). Destaca-se o creme adicionado de LBG, com o índice de consistência máximo de 21,00 Pa·s. Já para a goma xantana e a celulose microcristalina, apesar de ser visto um aumento de consistência, na condição de pressão de 80 MPa, estes resultados foram bem inferiores aos encontrados para o tratamento com LBG e controle (Tabela 3). Porém, a análise estatística dos dados, detectou que a relação entre pressão-hidrocolóide é significativa ( $p \leq 0,001$ ), esta condição foi vista em todos os tratamentos, ou seja, os valores de K são estatisticamente diferentes ao nível de 5 % de probabilidade, quando a pressão de homogeneização é elevada para 80 MPa.

A partir dos dados experimentais foi possível estabelecer uma equação empírica a pressão de homogeneização de 20 MPa  $y = -3,4509x^2 + 29,781x + 55,548$  ( $R^2 = 0,9978$ ) (Eq.5) e a 80 MPa  $y = 0,0495x^3 - 2,2871x^2 + 32,27x - 46,136$  ( $R^2 = 1$ ) (Eq.6), entre estabilidade da emulsão (% ES) e índice de consistência (K), a partir da qual é possível calcular o índice de consistência ideal para estabilizar a emulsão. Onde  $x =$  índice de consistência (K) e  $y =$  estabilidade da emulsão (% ES). Dentre os hidrocolóides avaliados, a goma xantana obteve o melhor índice de consistência no tocante a estabilidade da emulsão (95 %) do creme de leite UHT a 15 % m·v<sup>-1</sup> de gordura.

## 5. CONCLUSÃO

A adição dos diferentes hidrocolóides influenciou na estabilidade da emulsão e em algumas propriedades reológicas dos cremes de leite UHT a

15 % m·v<sup>-1</sup> de gordura, considerando um período de 40 dias de produção.

Visto que cada hidrocoloide possui características singulares, foram obtidos diferentes valores de estabilidade da emulsão (% ES) e índice de consistência (K). A goma xantana (XG) é classificada como agente emulsificante, e agrega viscosidade ao produto, inclusive em baixas concentrações. Por isso, neste estudo, destacou-se em conferir ao creme de leite os melhores valores de estabilidade de emulsão. Já a goma locusta (LBG), tem forte tendência a formar gel, os resultados indicaram que os cremes de leite adicionados deste hidrocoloide apresentaram o maior valor de índice de consistência, nos dois níveis de pressão de homogeneização analisados. A celulose microcristalina (MCC) foi o hidrocoloide que teve a menor influência e variação frente as propriedades reológicas e de estabilidade analisadas nos cremes de leite submetidos aos diferentes níveis de pressão de homogeneização. Todos os tratamentos, independente do efeito das diferentes pressões de homogeneização e da adição de hidrocoloide, foram classificados como fluidos pseudoplásticos e caracterizados como géis.

O aumento da pressão de homogeneização de 20 MPa para 80 MPa teve efeito sobre ambos quesitos analisados. A estabilidade da emulsão dos cremes controle e do creme adicionado de LBG foi aprimorada com a elevação da pressão. Por fim, todos os tratamentos submetidos a pressão de 80 MPa tiveram um aumento significativo ao nível de 5 % de probabilidade no índice de consistência em relação aos cremes de leite UHT sob pressão de homogeneização de 20 MPa. Este fato determina que a aplicação da pressão de 80 MPa e maior redução do tamanho dos glóbulos de gordura, teve influência nos valores de índice de consistência em todos os cremes de leite UHT.

## **6. REFERÊNCIAS**

BRASIL. Ministério de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. Publicado no Diário Oficial da União em 11 de março de 1996. Brasília, DF, 1996.

BARAK, S.; MUDGIL, D. International Journal of Biological Macromolecules  
Locust bean gum: Processing, properties and food applications — A review.  
International Journal of Biological Macromolecules, v. 66, p. 74–80, 2014.

BERTON, A.; ROUVELLAC, S.; ROBERT, B.; ROUSSEAU, F.; LOPEZ, C.;  
CRENON, I. Food Hydrocolloids Effect of the size and interface composition  
of milk fat globules on their in vitro digestion by the human pancreatic lipase:  
Native versus homogenized milk fat globules. Food hydrocolloids, v. 29, p.  
123–134, 2012.

CANO-RUIZ, M.E.; RICHTER, R.L. Effect of homogenization pressure on the  
milk fat globule membrane proteins. Journal of Dairy Science, v. 80, p.2732–  
2739, 1997.

CLARK, S.; COSTELLO, M.; DRAKE, F. Bodyfelt The sensory evaluation of  
dairy products (2nd ed.), Springer Science+Business. 2009.

CHEN, H. L. et al. Locust bean gum galactomannan hydrolyzed by  
thermostable  $\beta$ -d-mannanase may reduce the secretion of pro-inflammatory  
factors and the release of granule constituents. International Journal of  
Biological Macromolecules, v. 114,2018, p.181-186, 2018.

CODEX ALIMENTARIUS.Codex standard for cream and prepared  
creams.Codex stan 288-1976.

DALGLEISH, B. Y. D. G. Measurement of electrophoretic mobilities and zeta-  
potentials of particles from milk using laser Doppler electrophoresis. Journal of  
dairy research, v.51, p. 425–438, 1984.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. Carbohydrates. In Fennema's food  
chemistry. Florida: CRC Press, Cap. 3, p. 91-170, 2017.

DICKINSON, E. Stabilising emulsion-based colloidal structures with mixed  
food ingredients. J Sci Food Agric, 2012.

DICKINSON, E. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. Food  
Hydrocolloids, v. 23, p. 1473–1482, 2009.

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties  
of dispersed systems q. v. 17, p. 25–39, 2003.

DICKINSON, E.; STAINSBY, G. *Advances in food emulsions and foams*  
Edited by E. Dickinson and G. Stainsby, Elsevier Applied Science, London, p.  
397, 1988.

DIELS, A. M. J.; CALLEWAERT, L.; WUYTACK, E. Y.; MASSCHALCK, B.;  
MICHIELS, C. W. Moderate Temperatures Affect *Escherichia coli* inactivation  
by High-Pressure Homogenization Only through Fluid Viscosity.  
*Biotechnological Progress*. v. 20, n. 5, p. 1512-1517, 2004.

DODERO, A.; WILLIAMS, R.; GAGLIARD, S.; VICINI, S.; ALLOISIO, M.;  
CASTELLANO, M. A micro-rheological and rheological study of biopolymers  
solutions: Hyaluronic acid. *Carbohydrate Polymers*, v.203, p. 349-355, 2019.

DONSÌ, G.; FERRARI, G.; MARESCA, P. Rheological Properties of High-  
Pressure Milk Cream. *Procedia Food Science*, v. 1, p. 862–868, 2011.

DRAPALA, K. P.; MULVIHILL, D. M.; MAHONY, J. A. O. A review of the  
analytical approaches used for studying structure, interactions and stability of  
emulsions in nutritional beverage systems. *Food Structure*, v. 16, p. 27-24,  
2018.

DUMAY, E.; CHEVALIER-LUCIA, D.; PICART-PALMADE, L.; BENZARIA, A.;  
GRÀCIA-JULIÀ, A.; BLAYO, C. Technological aspects and potential  
applications of (ultra) high-pressure homogenisation. *Trends in Food Science  
and Technology*, v. 31, p. 13–26, 2013.

DUNKLEY, W.L.; STEVENSON, K.E. Ultra-High Temperature Processing and  
Aseptic Packaging of Dairy Products. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v.  
70 p. 2192-2202, 1987.

DUNSTAN, D. E. et al. Structure and rheology of the  $\kappa$ -carrageenan / locust  
bean gum gels. v. 15, p. 475–484, 2001.

EDWARDS, H. G. M.; FALK, M. J.; SIBLEY, M. J.; ALVAREZ-BENEDI, J.;  
RULL, F. FT-Raman spectroscopy of gums of technological significance.  
*Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v.54,  
p. 903-920, 1998.

FDA, food and drug administration department of health and human services. subchapter b--food for human consumption, part 13, milk and cream.42 FR 14360, Mar. 15, 1977.

FOX, P. F.; McSWEENEY, P. L. H. Milk proteins. Dairy chemistry and biochemistry, v. 1, p. 146–264., 1998.

FLOURY, J.; LEGRAND, J.; DESRUMAUX, A. Analysis of a new type of high pressure homogeniser. Part B. study of droplet break-up and re-coalescence phenomena. v. 59, p. 1285–1294, 2004.

FUCÀ, N.; IMPOCO, G.; LICITRA, G. Milk fat globules' microstructure. 2014.

GARTI, N.; REICHMAN, D. Hydrocolloids as food emulsifiers and stabilizers Food Structure, v. 12, p. 411-426, 1993.

HABIBI, Y.; LUCIA, L. A.; ROJAS, O. J. Cellulose Nanocrystals: Chemistry , Self-Assembly , and Applications. v. d, p. 3479–3500, 2010.

HAMID, S. B. A.; CHOWDHURY, Z. Z.; KARIM, M. Z. Catalytic extraction of microcrystalline cellulose (MCC) from *Elaeis guineensis* using central composite design (CCD). Bio Resources, v. 9, p. 7403-7426, 2014.

HARDHAM, J.F.; IMISON, B.W.; FRENCH, H.M. Effect of homogenisation and microfluidisation on the extent of fat separation during storage of UHT milk. Australian Journal of Dairy Technology, v. 55, p. 16–22, 2000.

HE, H.; YE, J.; ZHANG, X.; HUANG, Y.; LI, X.; XIAO, M.  $\kappa$ -Carrageenan/LocustBeanGum as Hard Capsule Gelling Agents. Carbohydrate Polymers, v. 175, p. 417-424, 2017.

HOFFMANN, W.; RUBNER-INSTITUT, M. Cream: Manufacture. Elsevier, 2016.

HUANG, X.; KAKUDA, Y.; CUI, W. Hydrocolloids in emulsions: particle size distribution and interfacial activity. v. 15, p. 533-542, 2001.

ISO 17678 | IDF 202: 2010 – Milk and milk products – Determination of milk fat purity by gas chromatographic analysis of triglycerides (Reference method).

JANSSON, P. E.; KENNE, L.; LINDBERG, B. Structure of the extracellular polysaccharide from *Xanthomonas campestris*. *Carbohydrate Research*, v. 45, p. 275-282, 1975.

JIA, X.; CHEN, Y.; SHI, C.; YE, Y.; ABID, M.; JABBAR, S.; WANG, P.; ZENG, X.; WU, T. Rheological properties of an amorphous cellulose suspension. *Food hydrocolloids*, v. 39, p. 27–33, 2014.

KALASHNIKOVA, I.; BIZOT, H.; CATHALA, B.; CAPRON, I. New Pickering Emulsions Stabilized by Bacterial Cellulose Nanocrystals. p. 7471–7479, 2011.

KATZBAUER, B. Properties and applications of xanthan gum. *Polymer Degradation and Stability*, v. 3910, p. 81–84, 1998.

KÖHLERA, K.; SCHUCHMANN, H. P. Homogenisation in the dairy process - conventional processes and novel techniques. *Italian Oral Surgery*, v. 1, p. 1367–1373, 2011.

KONTOGIORGOS, V. Galactomannans (Guar, Locust Bean, Fenugreek, Tara). *Encyclopedia of Food Chemistry*, v. 1, p. 109-113, 2019.

LIANG, Y.; PATEL, H.; MERINO-MATIA, L.; YE, A.; GOLDING, M. Structure and stability of heat-treated concentrated dairy-protein-stabilised oil-in-water emulsions: A stability map characterisation approach. *Food Hydrocolloids*, v. 33, n. 2, p. 297–308, 2013.

LO, C.G.; LEE, K.D.; RICHTER, R.L.; DILL, C.W. Dairy Foods, influence of guar gum on the distribution of some flavor compounds in acidified milk products. *Journal of Dairy Science*, v. 79, p. 2081-2090, 1996.

LU, G. W.; GAO, P. Emulsions and Microemulsions for Topical and Transdermal Drug Delivery. *Handbook of Non-Invasive Drug Delivery Systems*, p. 59-94, 2010.

LUVIELMO, M. M.; SCAMPARINI, A. R. P. Goma xantana: produção, recuperação, propriedades e aplicação. *Estudos Tecnológicos*, v. 5, p. 50-67, 2009.

MARZO, L. DI; BARBANO, D. M. Effect of homogenizer performance on accuracy and repeatability of mid-infrared predicted values for major milk components 1. *Journal of Dairy Science*, v. 99, p. 9471–9482, 2016.

MATSUMIYA, K. et al. Effects of heat treatment and homogenization on milk fat globules and proteins in whipping creams. *Food Structure*, v.12, p. 94-102, 2017.

MELITO, J. H. S.; DAMIANO, H. Influence of various hydrocolloids on cottage cheese cream dressing stability. *International Dairy Journal*, v. 51, p. 24–33, 2015.

MICHALSKI, M.; SAINMONT, D.; BRIARD, V. Apparent n- potential ad a tool to asses mechanical damages to the milk fat globule membrane. *Colloids and Sufarce*, v.23, p.23-30, 2001.

MITSOULIS, E. Fountain flow of pseudoplastic and viscoplastic fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, v.165, p. 45-55, 2010.

MULDER, H.; WALSTRA, P. *The Milk Fat Globule. Emulsion Science as Applied to Milk Products and Comparable Foods*, Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal and Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, p.296, 1974.

NIKNEZHAD, S. V.; ASADOLLAHI, M. A.; ZAMANI, A.; BIRIA, D.; DOOSTMOHAMMADI, M. Optimization of xanthan gum production using cheese whey and response surface methodology. *Food Science and Biotechnology*, v. 24, n. 2, p. 453–460, 2015.

NSOR-ATINDANA, J.; CHEN, M.; GOFF, H. D.; ZHONG, F.; SHARIF, H. R.; LI, Y. Functionality and nutritional aspects of microcrystalline cellulose in food. *Carbohydrate Polymers*, v. 172, p. 159–174, 2017.

PRADELLA, J. G. *Biopolímeros e Intermediários Químicos*. São Paulo: Centro de Tecnologia de Processos e Produtos/ Laboratório de Biotecnologia Industrial- LBI/CTPP, 120 p. (Relatório Técnico nº 84 396-205), 2006.

PALANIRAJ, A.; JAYARAMAN, V. Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *Journal of Food Engineering*, v. 106, p. 1–12, 2011.

PAQUIN, P. Technological properties of high pressure homogenizers: the effect of fat globules, milk proteins, and polysaccharides, *International Dairy Journal*, v. 9, p. 329-335, 1999.

PATRIGNANI, F.; LANCIOTTI, R. Applications of High and Ultra High-Pressure Homogenization for Food Safety. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, p. 1–13, 2016.

PRAJAPATI, V. D.; JANI, G. K.; MORADIYA, N. G.; RANDERIA, N. P.; NAGAR, B. J.; NAIKWADI, N. N.; VARIYA, B. C. International Journal of Biological Macromolecules Galactomannan: A versatile biodegradable seed polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 60, p. 83–92, 2013.

RAO, M. A. Measurement of Flow and Viscoelastic Properties. *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods, Principles and Applications*, Springer, p.63-159, 2014.

ROLAND, I.; PIEL, G.; DELATTRE, L.; EVRARD, B. Systematic characterization of oil-in-water emulsions for formulation design. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 263, p. 85-94, 2003.

SAHA, D.; BHATTACHARYA, S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 47, n. 6, p. 587–597, 2010.

SÉBASTIEN, G.; CHRISTOPHE, B.; MARIO, A.; PASCAL, L.; MICHEL, P.; AURORE, R. Impact of purification and fractionation process on the chemical structure and physical properties of locust bean gum. *Carbohydrate Polymers*, v. 108, p. 159–168, 2014.

SOUZA, C. J. F.; GARCÍAS-ROJAS, E. E. Food Hydrocolloids Interpolymeric complexing between egg White protein and xanthan gum: Effect of salt and protein / polysaccharide ratio. *Food hydrocolloids*, v. 66, p. 268-275, 2017.

STEPHANI, R.; H. C.; NEVES, E. O.; A. B.; PERRONE. I. T.; SILVA, P.H.F. Caracterização físico-química do creme de leite uht comercializado no Brasil. *Rev. Inst. Latic. "Cândido Tostes"*, v. 66, p. 25-29, 2011.

SYRBE, A.; BAUER, W. J.; KLOSTERMEYER, H. Polymer science concepts in dairy systems - An overview of milk protein and food hydrocolloid interaction. *International Dairy Journal*, v. 8, p. 179–193, 1998.

SZYMANSKA-CHARGOT, M.; CYBULSKA, J.; ZDUNEK, A. Sensing the Structural Differences in Cellulose from Apple and Bacterial Cell Wall Materials by Raman and FT-IR Spectroscopy. *Sensors*, v. 11, p. 5543-5560, 2011.

TRACHE, D.; HUSSIN, M. H.; TAN, C.; SABAR, S.; FAZITA, M. R. N.; TAIWO, O. F. A. W.; HASSAN, T. M.; HAAFIZ, M. K. M. International Journal of Biological Macromolecules Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application — A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 93, p. 789–804, 2016.

ÜNAL, B.; METIN, S.; IŞIKLI, N. D. Use of response surface methodology to describe the combined effect of storage time, locust bean gum and dry matter of milk on the physical properties of low-fat set yoghurt. *International Dairy Journal*, v. 13, n. 11, p. 909–916, 2003.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. Milk: main characteristics. *Dairy science & technology*. 2nd ed. Oxford: Taylor and Francis, p. 3, 2006.

WANG, Z.; WU, J.; ZHU, I.; ZHAN, X. Characterization of xanthan gum produced from glycerol by a mutant strain *Xanthomonas campestris* CCTCC M2015714. *Carbohydrate Polymers*, v. 157, p. 521–526, 2017.

WILBEY, R. A. Homogenization of milk: Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizers. Elsevier, 2011.

WIELINGA, W.C. Galactomannans. *Handbook of Hydrocolloids* (second ed.), Woodhead Publishing, p. 228-251, 2009.

WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O. Introduction to food hydrocolloids. Woodhead Publishing Limited, 2009.

WILLIAMS, P. A. Gums: Properties and Uses. 1. ed. Elsevier Ltd, 2016.

WINUPRASITH, T.; SUPHANTHARIKA, M. Food Hydrocolloids Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by micro fi brillated cellulose from mangosteen rind. Food hydrocolloids, v. 43, p. 690–699, 2015.

WORKBENCH, M. S. Characterizing Modified Celluloses Using Raman Spectroscopy. Spectroscopy, v.31, p.22-27, 2016.

YUEN, S.; CHOI, S.; PHILLIPS, D. L.; MA, C. Raman and FTIR spectroscopic of carbovymethylated non-starch polysaccharides. Food Chemistry, v. 114, p. 1091-1098, 2009.