

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

NAYRA FOGATTI DAMIANI

**ESTUDO DA ESTABILIDADE DA ESPUMA DE CERVEJA TIPO *PILSEN* COM A
ADIÇÃO DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE HIDROCOLOIDES**

Bagé

2021

NAYRA FOGATTI DAMIANI

**ESTUDO DA ESTABILIDADE DA ESPUMA DE CERVEJA TIPO *PILSEN* COM A
ADIÇÃO DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE HIDROCOLOIDES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Sérgio Meth Morgenbesser

Coorientador: Paulo Fernando Marques Duarte Filho

Bagé

2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

D158e Damiani, Nayra Fogatti

Estudo da estabilidade da espuma de cerveja tipo Pilsen com
a adição de diferentes composições de hidrocoloides / Nayra
Fogatti Damiani.

59 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2021.

"Orientação: Sérgio Meth Morgenbesser".

1. Cerveja Pilsen. 2. Estabilidade. 3. Hidrocoloides. I.
Título.

NAYRA FOGATTI DAMIANI

ESTUDO DA ESTABILIDADE DA ESPUMA DE CERVEJA TIPO PILSEN COM A ADIÇÃO DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE HIDROCOLOIDES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Dissertação defendida e aprovada em: 08 de outubro de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Sérgio Meth Morgenbesser

Orientador

UNIPAMPA

Prof. Dr. Paulo Fernando Marques Duarte Filho

UNIPAMPA

Prof. Dr. Edson Abel dos Santos Chiamonte

UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **SERGIO METH MORGENBESSER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/10/2021, às 13:49, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EDSON ABEL DOS SANTOS CHIARAMONTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/10/2021, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **PAULO FERNANDO MARQUES DUARTE FILHO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 13/10/2021, às 14:34, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0636688** e o código CRC **6463915C**.

Dedico este trabalho a minha mãe

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe pelo esforço, dedicação, apoio e amor que me proporcionou durante todos esses anos;

A Joe Porto Brasil, pelo amor, por partilhar a vida e fazer todos os dias serem melhores;

Aos meus amigos, por promoverem momentos inesquecíveis de descontração em vista as adversidades encontradas durante esta longa caminhada;

Ao meu querido orientador, Prof. Dr. Sérgio Meth, pelo ensino, paciência, conselhos, sermões, bom humor e pelos cafés.

Ao meu incrível coorientador, Prof. Dr. Paulo F. M. Duarte Filho, por toda dedicação, ajuda e parceria para com esse trabalho e comigo, mesmo não sendo de sua responsabilidade estava sempre prontamente à disposição.

“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano.”

Isaac Newton

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de classificação de cervejas	18
Tabela 2 - Classificação dos tipos de cerveja mencionadas na legislação brasileira	19
Tabela 3 - Parâmetros químicos da cerveja <i>Pilsen</i>	25
Tabela 4 - Classificação das gomas alimentícias conforme sua fonte de obtenção..	30
Tabela 5 - Solubilidade dos tipos de alginatos	31
Tabela 6 - Combinação de hidrocoloides	40
Tabela 7 - pH das cervejas.....	42
Tabela 8 - Média dos valores do deslocamento da espuma da cerveja padrão pelo tempo.....	43
Tabela 9 - Demonstração em ordem decrescente do decaimento da espuma da cerveja, representado pelo seu coeficiente de cinética α	46
Tabela 10 - Representação da velocidade média e relativa de decaimento da espuma.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de processamento de cerveja	19
Figura 2 - Disposição de um pasteurizador de túnel de dois andares.....	24
Figura 3 - Formação de uma bolha através de um sítio de nucleação.....	26
Figura 4 - Processo de coalescência	27
Figura 5 - Drenagem da cerveja ao redor das bolhas de gás	28
Figura 6 - Processo de dismutação.....	29
Figura 7 - Junção entre regiões de blocos G de três moléculas de alginato, promovida por íons cálcio	32
Figura 8 - Estrutura química da Carboximetilcelulose (CMC)	34
Figura 9 - Estrutura da goma arábica.....	36
Figura 10 - Caldeirão de mostura e fervura.....	38
Figura 11 - Bagaço da cevada dentro do tecido filtrante	38
Figura 12 - Fermentador de cerveja de 10 litros.....	39
Figura 13 - Adição dos hidrocoloides e açúcar à cerveja	39
Figura 14 - Cinética do decaimento da espuma até a etapa de dismutação	41
Figura 15 - Modelo gráfico para modelamento matemático da velocidade média de declínio da espuma até a etapa de drenagem	42
Figura 16 - Decaimento de espuma da cerveja padrão (sem adição de hidrocoloides) até a etapa de dismutação	44
Figura 17 - Declínio de espuma da cerveja padrão (sem adição de hidrocoloides) até a etapa de drenagem	44
Figura 18 - Efeito da coalescência em cerveja sem e com adição de hidrocoloide... 45	
Figura 19 - Decaimento da espuma de cerveja.....	47
A: Padrão. B: PGA. C: Arábica. D: CMC. E: Arábica e PGA. F: CMC e PGA. G: Arábica e CMC	47

LISTA DE APÊNDICE

Figura 20 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de goma arábica até a etapa de dismutação	54
Figura 21 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de CMC até a etapa de dismutação	54
Figura 22 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de PGA até a etapa de dismutação	55
Figura 23 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de goma arábica e PGA até a etapa de dismutação	55
Figura 24 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de goma arábica e CMC até a etapa de dismutação	56
Figura 25 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de CMC e PGA até a etapa de dismutação	56
Figura 26 - Declínio da espuma da cerveja com adição de goma arábica até a etapa de drenagem	57
Figura 27 - Declínio da espuma da cerveja com adição de CMC até a etapa de drenagem..	57
Figura 28 - Declínio da espuma da cerveja com adição de PGA até a etapa de drenagem.	58
Figura 29 - Declínio da espuma da cerveja com adição de goma arábica e CMC até a etapa de drenagem	58
Figura 30 - Declínio da espuma da cerveja com adição de goma arábica e PGA até a etapa de drenagem	59
Figura 31 - Declínio da espuma da cerveja com adição de CMC e PGA até a etapa de drenagem	59

RESUMO

É notável que o setor cervejeiro ao longo dos últimos anos obteve crescimento significativo no mercado brasileiro. Desse modo, para garantir parâmetros de qualidade, é necessário avaliar nessa bebida itens como pH, teor alcoólico, cor e estabilidade da espuma. O estudo desenvolvido no presente trabalho teve como objetivo minimizar um problema que ainda é muito comum na indústria desses produtos, a rápida drenagem da espuma, através do uso de hidrocoloides. Para isso foi realizada a produção da cerveja tipo *Pilsen*, seguida da adição de diferentes hidrocoloides (Goma arábica, carboximetilcelulose e alginato de propilenoglicol) individualmente e em combinações, para monitoramento da cinética de declínio da espuma. Essa foi calculada através da medição do decaimento da espuma pelo tempo, após realização de teste de agitação. Foram obtidas 2 tipos de velocidades de decaimento da espuma, uma até o estágio de dismutação da cerveja (no qual o padrão apresentou modelamento matemático na forma exponencial); E um declínio da espuma até a fase de drenagem, com modelamento matemático que apresentou comportamento linear. A cerveja que obteve maior redução no decaimento da espuma foi a PGA, com uma diminuição da velocidade de deslocamento da espuma de 42,9%, devido à atividade interfacial que seus grupos hidrofóbicos conferem às moléculas da cerveja.

Palavras-chave: cerveja *Pilsen*, estabilidade, hidrocoloides.

ABSTRACT

It is remarkable that the brewer sector over the last years got significant growth in the Brazilian market. Therefore, to guarantee quality parameters, it's necessary to evaluate in this drink items like pH, alcohol content, color and foam stability. The study developed in this work had the objective to minimize a problem which is still very ordinary in the industry of these products, the foam quick drainage, through the use of hydrocolloids. Therefore it had been executed the production of *Pilsner* beer, followed by the addition of different hydrocolloids (Arabic hydrocolloid, carboxymethylcellulose and propylene glycol alginate) individually and in combinations, to monitor the foam decline kinetics. That one was calculated through the foam decline measurement for the time, after the achievement of agitation tests. 2 types of foam decline speed were obtained, one until the stage of beer dismutation (which the pattern shows mathematical model in exponential shape); And one foam decline until drainage stage, with mathematical model that presented linear demeanor. The beer with the biggest reduction on the foam decline was the PGA, with the decrease of the foam decline speed of 42,9%, due to the interfacial activity that the hydrophobic groups gives to the beer molecules.

Keywords: *Pilsner* beer, stability, hydrocolloids.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	Cerveja	18
2.1.1	Definição	18
2.1.2	Classificação	18
2.1.3	Processamento	19
2.1.3.1	Maceração	20
2.1.3.2	Mosturação	20
2.1.3.3	Filtragem	21
2.1.3.4	Fervura.....	21
2.1.3.5	Resfriamento.....	21
2.1.3.6	Fermentação.....	22
2.1.3.7	Maturação	22
2.1.3.8	Clarificação	23
2.1.3.9	Outras etapas.....	23
2.1.4	Parâmetros químicos da cerveja <i>Pilsen</i>	24
2.2	Comportamento físico da espuma da cerveja	25
2.2.1	Formação das bolhas.....	25
2.2.2	Coalescência.....	26
2.2.3	Drenagem.....	28
2.2.4	Dismutação	29
2.3	Hidrocoloides.....	30
2.3.1	Alginatos.....	31
2.3.1.1	Origem	31
2.3.1.2	Estrutura.....	32
2.3.1.3	Alginato de propilenoglicol (PGA)	32

	2.3.1.4 Propriedades.....	33
	2.3.2 Carboximetilcelulose (CMC).....	33
	2.3.2.1 Origem	33
	2.3.2.2 Estrutura.....	34
	2.3.2.3 Propriedades.....	34
	2.3.3 Goma arábica.....	35
	2.3.3.1 Origem	35
	2.3.3.2 Estrutura.....	35
	2.3.3.3 Propriedades.....	36
3	METODOLOGIA	37
3.1	Materiais.....	37
3.1.1	Matérias primas.....	37
3.1.2	Equipamentos e utensílios	37
3.2	Métodos.....	37
3.2.1	Processamento da cerveja <i>Pilsen</i>	37
3.2.2	Análise de pH.....	40
3.2.3	Adição de hidrocoloides	40
3.2.4	Teste de agitação.....	41
	3.2.5 Modelamento matemático da cinética de decaimento da espuma.....	41
4	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
4.1	Análise de pH.....	37
4.2	Modelamento matemático da cinética de decaimento da espuma ...	437
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6	REFERÊNCIAS	49
7	APÊNDICE.....	53

1 INTRODUÇÃO

Em 2019, o Brasil chegou a 1.209 cervejarias registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), um crescimento de 36% em relação a 2018. Somente no ano passado, 320 novas fábricas abriram no país, o que significa quase uma nova cervejaria por dia (BEER ART, 2020).

O crescimento do número de cervejarias no país, nos últimos 20 anos, tem sido constante. A média de crescimento nesse período foi de 19,6%. Nos últimos cinco anos, esse índice foi de 36,4% (BEER ART, 2020).

O Brasil é o terceiro maior fabricante mundial de cerveja, com 13,3 bilhões de litros produzidos anualmente, atrás, somente, da China (46 bilhões) e dos Estados Unidos (22,1 bilhões) (SINDICERV, 2016).

A indústria cervejeira gerou R\$ 77 bilhões em faturamento no último exercício fechado, equivalente a 2% do PIB e 14% da indústria de transformação nacional. Além disso, contribuiu com R\$ 25 bilhões em impostos (SINDICERV, 2016).

A cerveja tipo *Pilsen* é a categoria de cerveja mais consumida no mundo todo. Uma parte dessa predileção se explica pela suavidade e refrescância do estilo, radicalizado pelo uso de cereais não maltados, como arroz e milho, na fabricação. A formulação dessa categoria se alterou após a 2ª Guerra Mundial, quando houve uma escassez de malte e lúpulo na Europa devastada pelo conflito (MESTRE CERVEJEIRO, 2020).

No Brasil, a preferência pela cerveja tipo *Pilsen* começou com o advento das *American Lagers*, tidas como mais refrescantes e, portanto, mais condizentes com o clima tropical (MESTRE CERVEJEIRO, 2020).

Adjunto com a cor e a turvação, a espuma da cerveja é um dos três parâmetros mais prezados e importantes para os consumidores, afetando sua decisão de compra e sua satisfação (BAXTER; HUGHES, 2001).

A espuma é um sistema coloidal formado por uma fase líquida (como na cerveja) ou sólida contínua (como num sorvete) e uma fase gasosa descontínua. As proteínas da cevada, os ácidos do lúpulo e os polissacarídeos não amiláceos são os principais responsáveis pela formação e manutenção da espuma, porém outros fatores como pH da bebida, solubilidade do gás em água e sua difusividade no líquido bem como a viscosidade da cerveja também influenciam em sua estabilidade (BAMFORTH et al, 2009 apud ROJAS, 2014).

O uso de aditivos alimentares na fabricação de cervejas no Brasil é permitido conforme a Resolução RDC 65 de 29 de novembro de 2011. Assim, o aumento da estabilidade da espuma na cerveja pode se dar pela adição de agentes estabilizantes como gomas, pectinas e alginatos (ROJAS, 2014).

Com o aumento paulatino no mercado cervejeiro, é necessário que as indústrias busquem fabricar um produto qualificado e sensorialmente aceitável sob o ponto de vista do consumidor, portanto, o presente trabalho teve o objetivo de estudar e encontrar, através da adição de hidrocoloides, a melhor alternativa para estabilizar a espuma de cerveja tipo *Pilsen*.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cerveja

2.1.1 Definição

A cerveja é uma bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro originado a partir do malte de cevada e água potável, por ação de levedura, com adição de lúpulo (ALVES, 2014).

Porém, a legislação brasileira permite que parte do malte de cevada possa ser substituída por cereais maltados ou não, e por carboidratos de origem vegetal transformados ou não, conhecidos como adjuntos. Esses adjuntos têm por finalidade contribuir como fonte alternativa de substrato, custos geralmente inferiores ao malte de cevada e adicionalmente, proporcionar à bebida características sensoriais peculiares em função da fonte que provém (VENTURINI FILHO, 2016).

2.1.2 Classificação

Conforme demonstrado na Tabela 1, as cervejas podem ser classificadas quanto à sua cor, extrato primitivo, proporção do malte de cevada, teor alcoólico e fermentação (ALVES, 2014).

Tabela 1 - Tipos de classificação de cervejas

Extrato primitivo	Proporção do malte de cevada	Cor	Teor alcoólico	Fermentação
Cerveja leve	Puro malte	Clara	Sem álcool	Baixa fermentação
Cerveja comum	Cerveja	Escura	Com álcool	Alta fermentação
Cerveja extra	“Cerveja de ...”	Colorida	-	-
Cerveja forte	-	-	-	-

Fonte: Alves, 2014

De acordo com o seu tipo, a cerveja poderá ser denominada: “*Pilsen*”, “*Export*”, “*Lager*”, “*Dortmunder*”, “*München*”, “*Bock*”, “*Malzbier*”, “*Ale*”, “*Stout*”, “*Porter*”, “*Weissbier*”, “*Ice*” e outras denominações internacionalmente reconhecidas que vierem a ser criadas, observadas as características do produto original. Essa classificação é representada pela Tabela 2 (VENTURINI FILHO, 2016).

Tabela 2 - Classificação dos tipos de cerveja mencionadas na legislação brasileira

Cerveja	Origem	Coloração	Teor alcóolico	Fermentação
Pilsen	República Tcheca	Clara	Médio	Baixa
Export	Alemanha	Clara	Médio	Baixa
Lager	Alemanha	Clara	Médio	Baixa
Dortmunder	Alemanha	Clara	Médio	Baixa/Alta
München	Alemanha	Escura	Médio	Baixa
Bock	Alemanha	Escura	Alto	Baixa
Malzbier	Alemanha	Escura	Alto	Baixa
Ale	Inglaterra	Dourada	Médio/Alto	Alta
Stout	Inglaterra	Escura	Alto	Baixa
Porter	Inglaterra	Escura	Alto	Alta ou Baixa
Weissbier	Alemanha	Clara	Médio	Alta
Ice	Canadá	Clara	Alto	-

Fonte: Venturini Filho, 2016

2.1.3 Processamento

Conforme apresentado na Figura 1, o processo tradicional de produção de cerveja pode ser dividido em oito operações essenciais: moagem do malte; mosturação ou tratamento enzimático do mosto; filtração do mosto; fervura do mosto; tratamento do mosto (remoção do precipitado, resfriamento e aeração); fermentação; maturação e clarificação (VENTURINI FILHO, 2016).

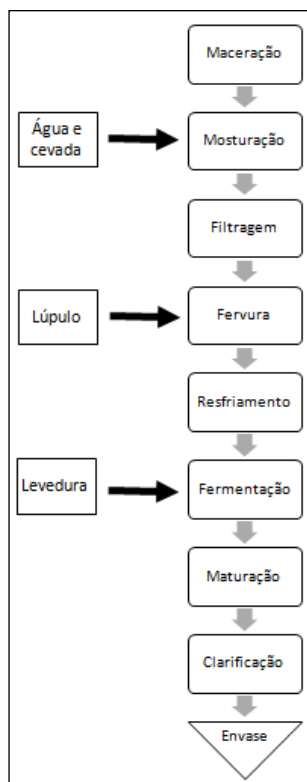


Figura 1 - Fluxograma de processamento de cerveja
Fonte: Adaptado de Venturini Filho, 2016

2.1.3.1 Maceração

A etapa de maceração ou moagem do malte tem uma influência direta sobre a rapidez das transformações físico-químicas, o rendimento, a clarificação e a qualidade do produto final (OLIVER; MENDES, 2020).

O objetivo é a redução do grão de malte de modo uniforme, para obter: (1) rompimento da casca no sentido longitudinal, expondo desta forma o endosperma, porção interna do grão; (2) a desintegração total do endosperma, promovendo uma melhor atuação enzimática e (3) a produção mínima de farinha com granulometria muito fina, evitando a formação de substâncias que produzam uma quantidade excessiva de pasta dentro da solução (VENTURINI FILHO, 2016).

Existem 5 principais tipos de maceração do malte, sendo elas: moagem seca, moagem seca com condicionamento, moagem com martelo, moagem úmida com condicionamento e moagem com discos submersos (VENTURINI FILHO, 2016).

2.1.3.2 Mosturação

A mistura do malte moído juntamente com água em temperatura controlada tem por objetivo solubilizar as substâncias do malte diretamente solúveis em água e, com o auxílio das enzimas, solubilizar as substâncias insolúveis, promovendo a gomificação e posterior hidrólise do amido a açúcares (VENTURINI FILHO, 2016).

O processo enzimático depende da temperatura, do tempo, do grau de acidez e concentração do meio, da qualidade do malte e constituição do produto da moagem (ALVES, 2014).

A ação das enzimas produz um mosto que contém de 70-80% de carboidratos fermentescíveis, incluindo glicose, maltose e maltotriose (VENTURINI FILHO, 2016).

O controle da temperatura é muito importante durante esse processo, uma vez que a mistura malte-água deve permanecer a 62-65 °C, não havendo possibilidades de ajustar facilmente essa temperatura em etapas posteriores (VENTURINI FILHO, 2016).

A mistura é deixada em repouso durante 20 a 60 min para permitir a atuação das enzimas, antes do escoamento do mosto. No começo do escoamento, a densidade do mosto é alta, mas diminui durante o processo, pela aspensão de água quente (a 75-78 °C) por cima da mistura. O peso exercido pela água de aspensão e a

gravidade contribuem na passagem do mosto através da camada filtrante. Após a coleta do mosto, a camada filtrante é drenada para retirada do bagaço de malte (VENTURINI FILHO, 2016).

2.1.3.3 Filtragem

Após a completa conversão da mistura malte-água e hidrólise do amido em açúcares fermentáveis, a solução de extrato aquoso deve ser separada dos sólidos insolúveis do malte para produzir o mosto (OLIVER; MENDES, 2020).

A separação do mosto pode ser realizada por vários métodos diferentes: com tina de mosturação, com tina de clarificação, com filtros de mistura ou com o *Strainmaster* (OLIVER; MENDES, 2020).

2.1.3.4 Fervura

Na etapa seguinte, com acréscimo do lúpulo, o mosto filtrado é submetido à fervura, visando a inativação de enzimas, esterilização do mosto, coagulação proteico, extração de compostos amargos e aromáticos do lúpulo, formação de substâncias constituintes do aroma e sabor, evaporação de água excedente e de componentes aromáticos indesejáveis ao produto final (VENTURINI FILHO, 2016).

Os lúpulos devem ser aquecidos para converter seus α -ácidos em iso- α -ácidos em um processo conhecido como isomerização. Esse é um processo rápido, uma vez que 90% do amargor final do mosto é produzido durante os primeiros 30 min de fervura, atingindo seu nível máximo após 60-70 min (OLIVER; MENDES, 2020).

O mosto é mantido em fervura até atingir a concentração desejada de açúcar para o início da fermentação, durante 60-90 min, permitindo uma evaporação máxima de até 10% do volume inicial (OLIVER; MENDES, 2020).

2.1.3.5 Resfriamento

Após a sua fervura, o mosto deve passar pelas etapas resfriamento e possível aeração. O mosto é resfriado em trocador de calor de placas, até a temperatura de fermentação. Mostos de cerveja tipo *lager* são usualmente resfriados entre 7 e 15 °C

e os de tipo *ale* são resfriados em média entre 18 e 22 °C, antes da adição da levedura (VENTURINI FILHO, 2016).

Nas cervejarias modernas onde é produzida cerveja pelo processo de altas densidades é necessário injetar oxigênio puro para atingir o nível requerido de oxigênio no mosto (OLIVER; MENDES, 2020).

2.1.3.6 Fermentação

O processo fermentativo consiste no ponto central para produção de qualquer bebida alcoólica, possuindo como principal objetivo a conversão de açúcares em etanol e gás carbônico pela levedura, sob condições anaeróbicas (ALVES, 2014).

Os métodos utilizados na multiplicação de fermento são, em geral, variantes do processo de cortes, no qual o mosto em fermentação é diluído com mosto estéril toda vez que a fermentação se mostra vigorosa (OLIVER; MENDES, 2020).

O crescimento celular é acompanhado pela formação de até 45 g/L de etanol e 42 g/L de dióxido de carbono. O rendimento do dióxido de carbono é ligeiramente menor do que aquele do etanol, dado que parte do CO₂ é fixado pela levedura em reações de carboxilação (VENTURINI FILHO, 2016).

As leveduras produzem os compostos de aroma e sabor da cerveja como subprodutos de seu metabolismo, sendo que os teores desses compostos variam com os padrões de crescimento celular, que são influenciados pelas condições (como temperatura) de processo (VENTURINI FILHO, 2016).

2.1.3.7 Maturação

A cerveja no final da fermentação primária é chamada de “cerveja verde”, pois contém uma baixa concentração de dióxido de carbono, é turva e seu aroma e sabor são qualitativamente inferiores aos da cerveja pronta para comercialização. Para refinar estas características, a cerveja deve ser maturada ou condicionada (ALVES, 2014).

Durante o curso da fermentação do mosto, a formação de compostos que influenciam o sabor da cerveja apresenta uma boa correlação com o crescimento da levedura. O crescimento da levedura, por sua vez, apresenta uma boa correlação com o pH e com o consumo de aminoácidos (VENTURINI FILHO, 2016).

O processo de maturação, no qual a cerveja é armazenada ou permanece em tanques sob baixas temperaturas, proporciona a clarificação pela precipitação de leveduras e proteínas, assim como de sólidos insolúveis (VENTURINI FILHO, 2016).

Os alcoóis superiores e ácidos graxos que se formaram durante a fermentação não se modificam significativamente no decorrer da maturação. Durante o período de maturação, são formados ésteres responsáveis pelo aroma e o sabor que caracterizam a cerveja; entre os ésteres predominam o acetato de etila (21,4 mg/L) e o acetato de amila (2,6 mg/L) (OLIVER; MENDES, 2020).

2.1.3.8 Clarificação

Após a maturação, a cerveja contém leveduras, partículas coloidais dos complexos proteínas/polifenóis e outras substâncias insolúveis, formadas em decorrência do baixo pH existente e das baixas temperaturas utilizadas durante essa etapa. Para se obter um produto brilhante e límpido é necessária uma etapa de clarificação, que permita remover esse material insolúvel (OLIVER; MENDES, 2020).

Existem quatro técnicas básicas de clarificação que podem ser utilizadas, tanto individualmente como em combinação, sendo elas: sedimentação por gravidade, uso de agentes clarificantes, centrifugação e filtração (VENTURINI FILHO, 2016).

2.1.3.9 Outras etapas

Além da filtração, vários outros tratamentos podem ser aplicados na etapa de acabamento da cerveja, visando aumentar sua vida de prateleira. A turbidez na cerveja pode ser causada por diversos compostos, mas principalmente é devida às ligações cruzadas de certas proteínas com polifenóis (OLIVER; MENDES, 2020).

Os polifenóis podem ser removidos com polivinilpolipirrolidona (PVPP), enquanto as proteínas podem ser precipitadas pela adição de ácido tânico, hidrolisadas com a enzima papaína ou mais comumente, adsorvidas em hidrogéis e xerogéis de sílica (OLIVER; MENDES, 2020).

Além disso, o dióxido de carbono (CO₂) é um constituinte muito importante da cerveja, responsável pela efervescência e a sensação de acidez deixada na boca, em razão de suas propriedades de gás ácido. Por essa razão, após a clarificação,

sua concentração pode ser aumentada através de um processo adicional de carbonatação (VENTURINI FILHO, 2016).

Em escala industrial, normalmente, a carbonatação pode ser realizada pela injeção de CO₂ em linha ou em tanque (ALVES, 2014).

Após a finalização de todas as etapas a cerveja pode ser finalmente envasada, tanto em garrafas e latas quanto por embarrilamento, podendo seguir para um processo de pasteurização em túnel como ilustrado na Figura 2 (VENTURINI FILHO, 2016).

No pasteurizador de túnel de dois andares existem tempos e temperaturas para as diferentes zonas: 1º preaquecimento, 5 min a 35-50 °C; 2º preaquecimento, 13 min a 50-62 °C; pasteurização, 20 min a 60 °C; pré-resfriamento, 5 min a 60-49 °C; resfriamento, 13 min a 49-30 °C; descarga, 2 min a 30-20 °C (VENTURINI FILHO, 2016).

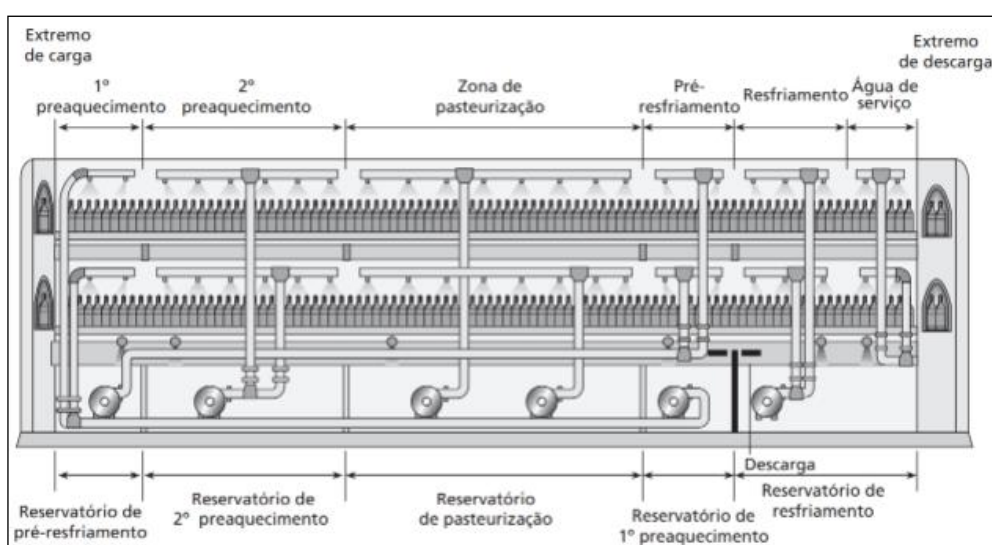


Figura 2 - Disposição de um pasteurizador de túnel de dois andares
Fonte: Venturini Filho, 2016, p. 81

2.1.4 Parâmetros químicos da cerveja *Pilsen*

A composição média da cerveja tipo *Pilsen* pode ser observada na Tabela 3. Esse tipo de cerveja tem origem na região da Boêmia, hoje parte da República Tcheca. Ela tem como principal característica cor dourada e translúcida. Em sua fórmula original tem sabor suave e um aroma acentuado de flores, com presença acentuada de lúpulo (MEGA et al, 2011 apud ALVEZ, 2014).

Tabela 3 - Parâmetros químicos da cerveja *Pilsen*

Parâmetro	Quantidade
Ácidos orgânicos e graxos	630-680 mg/L
Água	920 g/kg
Álcool	4,8-5,1 mL/ 100 mL
Aminas, amidas, pirazinas	70 mg/L
Carboidratos	27-30 g/L
Componentes do lúpulo	250-500 mg/L
Dióxido de carbono	0,5 g/ 100 g
Dióxido de enxofre	3 mg/L
Elementos nucleicos	300 mg/L
Elementos traço	1500-1700 mg/L
Energia fisiológica	400-440 kJ/kg
Extrato	3,9-4,1 g/ 100 g
Fibras	1520-1530 mg/L
Nitrato	25-33 mg/L
Oxalato	12-13 mg/L
pH	4,1-4,7
Produtos secundários de fermentação	1500-1800 mg/L
Proteínas e aminoácidos	4,3 g/L
Sódio	40-45 mg/L
Substâncias fenólicas	150-155 mg/L
Vitaminas	200-220 mg/L

Fonte: Kunze, 2006 apud Rojas, 2014

2.2 Comportamento físico da espuma da cerveja

Buscando simplificar um pouco a matemática complexa envolvida, pode-se reduzir os parâmetros implicados na formação e retenção de bolhas para: formação das bolhas, coalescência (aumento da bolha), drenagem e dismutação (BAMFORTH, 2004).

Eles não são eventos independentes. Como por exemplo, a drenagem vai impactar na tendência para a dismutação ocorrer (o fenômeno acontece com a passagem do gás de uma bolha pequena para uma bolha maior adjacente, resultando no colapso da anterior e no crescimento desairoso da bolha seguinte) (BAMFORTH, 2004).

2.2.1 Formação das bolhas

Embora as cervejas sejam soluções supersaturadas de dióxido de carbono, as bolhas não formam núcleos de forma espontânea (BAMFORTH, 2004). Exceto quando há um sítio/ponto de nucleação, que pode ser promovido através de uma

partícula, um risco no vidro ou à pré-formação de uma microbolha, como pode ser observada na Figura 3 (BAMFORTH, 2004 apud ROJAS, 2014).

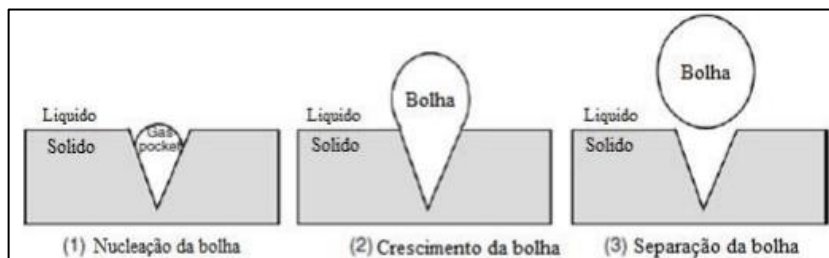


Figura 3 - Formação de uma bolha através de um sítio de nucleação
Fonte: Rojas, 2014, p. 19

Os fatores que comandam o tamanho da bolha que é gerada são obtidos através da Equação 1 (BAMFORTH, 2004).

$$\text{Raio da bolha} = \left[\frac{3R_m\gamma}{2\rho g} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Onde:

R_m = Raio do sítio de nucleação (m)

γ = Tensão superficial ($\text{mN}\cdot\text{m}^{-1}$)

ρ = Densidade relativa da cerveja ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

g = Aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$)

Em suma, o mestre cervejeiro que deseja atingir o tamanho ideal de bolhas deve focar nas nucleações que envolvem os sítios de menores diâmetros possíveis (BAMFORTH, 2004).

2.2.2 Coalescência

A Figura 4 mostra o processo de coalescência, que trata-se do fenômeno onde ocorre a junção de duas ou mais bolhas de ar dispersas no líquido, através da ruptura do filme entre elas, de modo que elas se fundem em menor quantidade de bolhas, mas de maior dimensão (BAMFORTH, 2009).

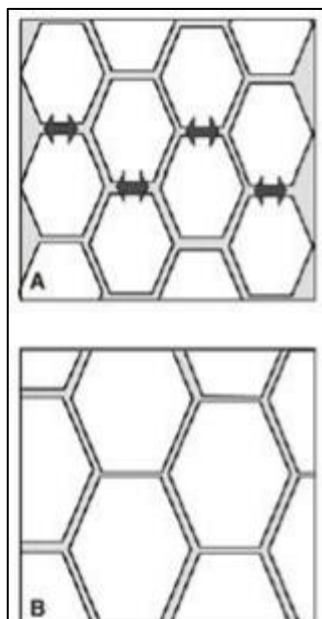


Figura 4 - Processo de coalescência
Fonte: Rojas, 2014, p. 22

A coalescência gera bolhas menos estáveis, tornando o produto menos atraente para o consumidor (RONTELTAP et al, 1991 apud BAMFORTH, 2009).

Através de estudos, geraram-se 2 tipos de modelos de bolhas em cervejas, analisando a frequência de liberação e o crescimento das mesmas. O primeiro, mensurado através da Equação 2, foi obtido com base em medições feitas com uma variedade de cervejas e um único sítio de nucleação definido. O segundo, demonstrado pela Equação 3, foi desenvolvido através de experimentos onde o nível de dióxido de carbono foi estabilizado e, em seguida, a faixa de valores da tensão superficial e densidade foram estendidas através da diluição das cervejas com água ou com a adição de etanol (BAMFORTH, 2004).

$$a_n^0 = 3,11C + 0,0962\gamma - 218\rho + 216 \quad (2)$$

$$a_n^0 = -10,7\gamma + 3060\rho - 2406 \quad (3)$$

Onde:

a_n^0 = Atividade de nucleação inicial

γ = Tensão superficial (mN.m^{-1})

ρ = Densidade relativa da cerveja (kg.m^{-3})

C = Conteúdo de dióxido de carbono (vol CO_2 / vol cerveja)

2.2.3 Drenagem

Assim que a espuma é formada uma parte líquida começa a ser drenada dela. O fenômeno não é simples em um meio como a cerveja, por exemplo, interações ocorrem entre um tensoativo do filme líquido e outros parâmetros como a viscosidade, que são alterados com o tempo. No entanto, uma fórmula simples (Equação 4) é comumente usada para explicar a drenagem líquida das espumas (BAMFORTH, 2004).

$$Q = \frac{2\rho g q \delta}{3\eta} \quad (4)$$

Onde:

Q = Vazão volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

η = Viscosidade do filme líquido (Pa.s)

γ = Tensão superficial ($\text{mN} \cdot \text{m}^{-1}$)

ρ = Densidade ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

q = Comprimento da borda do platô (m)

g = Aceleração da gravidade ($9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

δ = Espessura do filme (m)

É possível computar o aumento da viscosidade na cerveja, de por exemplo, 0,0016 para 0,0018 Pa.s, o que significará um acréscimo de 12% no tempo levado para alcançar uma dada espessura de filme. Viscosidade é o fator mais significativa para a drenagem. O feito da drenagem é representado pela Figura 5 (BAMFORTH, 2004).

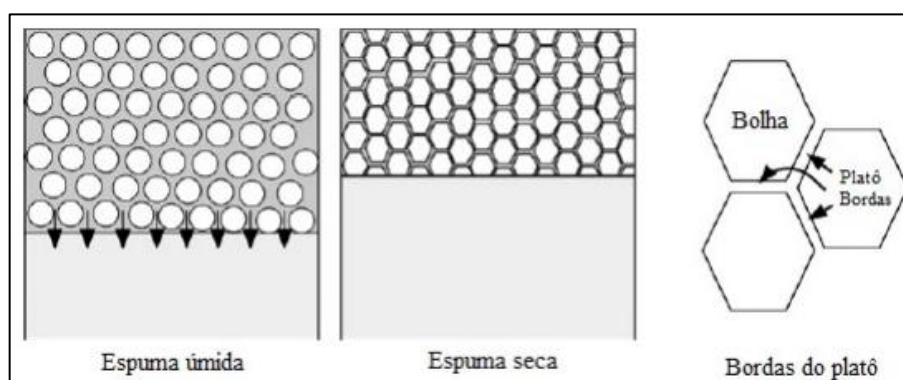


Figura 5 - Drenagem da cerveja ao redor das bolhas de gás

Fonte: Rojas, 2014, p. 21

2.2.4 Dismutação

A coalescência (fusão) das bolhas tem uma importância limitada para a estabilidade da espuma da cerveja mas a dismutação é substancialmente mais significativa. Esse fenômeno, demonstrado na Figura 6, é governado pela equação de De Vries, representada através da Equação 5 (BAMFORTH, 2004).

$$r_t^2 = r_0^2 \frac{4RTDS\gamma t}{P\theta} \quad (5)$$

Onde:

r_t = Raio da bolha no tempo t (m)

r_0 = Raio da bolha inicial (m)

R = Constante universal dos gases ($8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$)

T = Temperatura absoluta (K)

D = Coeficiente de difusão do gás ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)

S = Solubilidade do gás ($\text{mol}.\text{m}^{-3}.\text{Pa}^{-1}$)

γ = Tensão superficial ($\text{mN}.\text{m}^{-1}$)

t = tempo (s)

P = Pressão (Pa)

θ = Espessura do filme entre as bolhas (m)

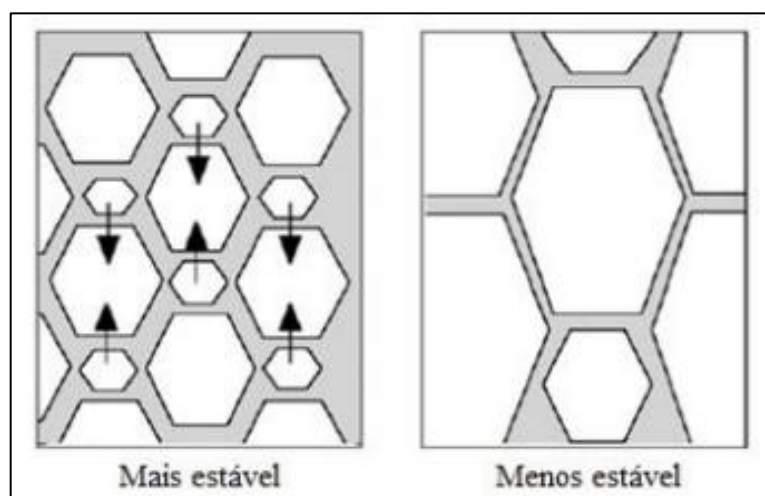


Figura 6 - Processo de dismutação

Fonte: Rojas, 2014, p. 23

Os fatores mais significantes para a proteção contra o colapso da bolha através do fenômeno da dismutação são conteúdo do gás e espessura do filme (BAMFORTH, 2004).

2.3 Hidrocoloides

Hidrocoloides, ou gomas como são comumente conhecidos, são compostos macromoleculares, fortemente hidrofílicos, que se dissolvem ou dispersam em água e que produzem soluções ou misturas viscosas (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

As gomas possuem grande variedade de estrutura química, composição, solubilidade e outras características que lhes conferem uma ampla gama de funcionalidades. Seus usos nas indústrias de alimentos baseiam-se, principalmente, no aproveitamento destas características funcionais (GLICKSMAN, 1982; WHISTLER; BEMILLER, 1993 apud LEITE, 2009).

As gomas alimentícias são polímeros de cadeia longa (com alto peso molecular) que podem ser divididas em 4 categorias, conforme a sua forma de obtenção, como mostrado na Tabela 4 (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2015).

Tabela 4 - Classificação das gomas alimentícias conforme sua fonte de obtenção

Exsudados de plantas terrestres	Extraídas de sementes	Extraídas de plantas marinhas	Processos microbiológicos	Modificação química
Goma adraganta	Goma guar	Goma carragena	Goma gelana	Goma celulósicas
Goma arábica	Goma jataí	Agar	Goma xantana	Pectinas
Goma ghatti	Goma locusta	Alginatos	-	-
Goma karaya	-	-	-	-

Fonte: Aditivos & Ingredientes, 2015

O interesse por hidrocoloides está baseado no seu comportamento reológico, ou seja, em sua habilidade de formar gel bem como seus efeitos estabilizantes. Quando solubilizada, as moléculas são capazes de reorganizar-se de duas maneiras diferentes: pela ligação com as moléculas de água (efeito de espessamento) ou pela construção de redes, envolvendo zonas de ligação (efeito de geleificação) (GLICKSMAN, 1969 apud LEITE, 2009).

As gomas desempenham variadas funções, incluindo: espessantes e gelificantes de soluções aquosas, estabilizantes de espumas, emulsificantes e dispersantes, inibidores de formação de cristais de gelo e de açúcar, e controladores da liberação de sabores (PHILLIPS; WILLIAMS, 2000).

Esses polissacarídeos agem também como flocculantes, clarificantes, encapsuladores, protetores coloidais e formadores de filme (RODRIGUES; PAULA; COSTA, 1993). Podem ser utilizados como fixadores de aromas (GARCIA-CRUZ; SCAMPARINI, 1992). Como também para a suspensão de partículas (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Todos os hidrocoloides podem apresentar propriedades funcionais, que estão relacionadas com os parâmetros: peso molecular, presença ou não de grupos funcionais, temperatura do meio e interações com outros componentes do meio, tais como íons (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007). Bem como tamanho e orientação da molécula, ligações iônicas e de hidrogênio, tamanho da partícula, concentração e outros fatores (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Os parâmetros acima afetam diferentemente cada tipo de goma e podem influenciar a textura do produto final (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

2.3.1 Alginatos

2.3.1.1 Origem

Os alginatos são polissacarídeos que se encontram na proporção de 30% a 60% das algas marinhas pardas (base seca) e situam-se nas paredes celulares e espaços intramoleculares dessas plantas (INGREDIENTES & ADITIVOS, 2011).

Os alginatos comerciais são sais, com mais frequência sal de sódio, de um ácido poliurônico linear (ácido urônico) ou o ácido algínico (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

Como pode ser observado na Tabela 5, a escolha do tipo de alginato na indústria alimentícia deve ser de acordo com sua solubilidade, buscando a melhor característica funcional que o mesmo fornecerá ao alimento (ADITIVOS & INGREDIENTES, 2015).

Tabela 5 - Solubilidade dos tipos de alginatos

Tipo de alginato	Água quente/fria	Óleos e gorduras	Solventes orgânicos
Ácido algínico	Insolúvel	Insolúvel	Insolúvel
Alginato de sódio	Solúvel	Insolúvel	Insolúvel
Alginato de potássio	Solúvel	Insolúvel	Insolúvel
Alginato de cálcio	Insolúvel	Insolúvel	Insolúvel
Alginato de propilenoglicol	Solúvel	Insolúvel	Insolúvel

Fonte: Aditivos & Ingredientes, 2015

2.3.1.2 Estrutura

O alginato contém em sua estrutura unidades de ácido manopiranosilurônico (M) e de ácido gulopiranosilurônico (G). Sua estrutura molecular é um polímero com partes homogêneas dos polímeros M e G unidas por partes de M-G (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

A razão M/G depende da origem e altera as propriedades dos alginatos em solução. Alginatos com maior conteúdo de blocos G produzem géis de maior força (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

A Figura 7 mostra a representação da formação proposta para uma junção entre regiões de blocos G de três moléculas de alginato, promovida por íons cálcio (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

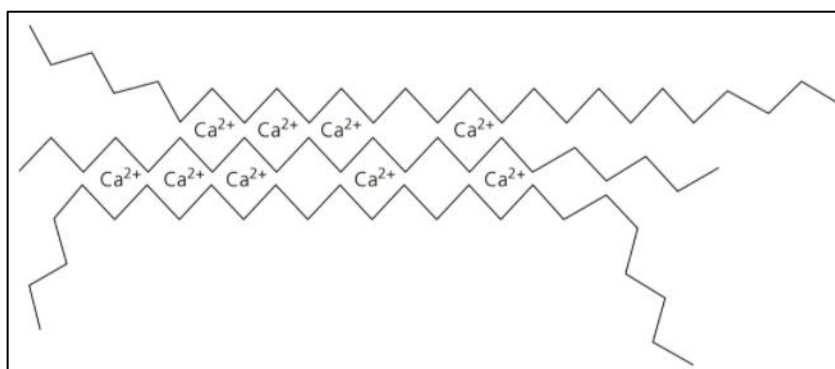


Figura 7 - Junção entre regiões de blocos G de três moléculas de alginato, promovida por íons cálcio
Fonte: Damodaran et al, 2018, p. 162

2.3.1.3 Alginato de propilenoglicol (PGA)

Os alginatos de propilenoglicol (PGAs) são feitos pela reação de ácido algínico úmido com óxido de propileno, a fim de produzir um éster parcial com 50 a 85% de grupos carboxila esterificados (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

As soluções de PGA são muito menos sensíveis a baixos valores de pH e a cátions polivalentes, incluindo os íons cálcio e as proteínas, do que as soluções de alginatos não esterificados, pois os grupos carboxila esterificados não se ionizam (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003).

Além disso, o grupo propilenoglicol introduz uma protuberância na cadeia, a qual previne a associação estreita entre as cadeias (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

Os grupos hidrofóbicos do propilenoglicol também conferem às moléculas uma leve atividade interfacial, ou seja, propriedades espumantes, emulsificantes e estabilizadoras e emulsão (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

2.3.1.4 Propriedades

A viscosidade das soluções de alginato diminui com o acréscimo de temperatura. As dispersões de alginato são estáveis na faixa de pH de 5 a 10 em temperatura ambiente (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

Todavia, se o pH de uma solução de alginato for reduzido a 3, o que causa um aumento na proporção de grupos de ácidos carboxílicos para se tornarem protonados (os valores de pK_a dos grupos de ácidos carboxílicos são iguais a 3,38 e 3,65), as moléculas menos ionizadas resultantes podem se associar e precipitar ou formar um gel, como se espera de glicanos não carregados (neutros) e não ramificados (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

2.3.2 Carboximetilcelulose (CMC)

2.3.2.1 Origem

A CMC é um éter de celulose de cadeia linear aniônica sendo preparada a partir do tratamento da celulose com solução aquosa de hidróxido de sódio, seguido de uma reação com cloroacetato de sódio. Após a conclusão da reação, a carboximetilcelulose sódica de grau alimentício e farmacêutico é preparada por lavagem do material com uma mistura de água e álcool para remover o excesso de sal (FRANCO; MERCÊ, 2006 apud LEITE, 2009).

Uma vez que a CMC consiste de uma longa e relativamente rígida molécula com carga negativa, devido a seus numerosos grupos carboxílicos ionizados, a repulsão eletrostática faz com que essas moléculas, quando em solução, fiquem estendidas. Da mesma forma, as cadeias adjacentes repelem umas às outras (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

Como consequência, as soluções de CMC tendem a ser, ao mesmo tempo, altamente viscosas e estáveis, estando disponível em uma ampla faixa de graus de viscosidade (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

2.3.2.2 Estrutura

A estrutura química da carboximetilcelulose sódica é formada por uma estrutura polianiônica constituída de repetições de β -1,4-anidro-D-glicose com grupos hidroxilas substituídas por grupos carboximetil sódico (FRANCO; MERCÊ, 2006 apud LEITE, 2009).

A caboximetilcelulose é o derivado da celulose mais utilizado. A Figura 8, mostra a estrutura de obtenção da CMC, a partir da reação da celulose alcalina com monocloroacetato de sódio ($\text{ClCH}_2\text{-COO}^-\text{Na}^+$) (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

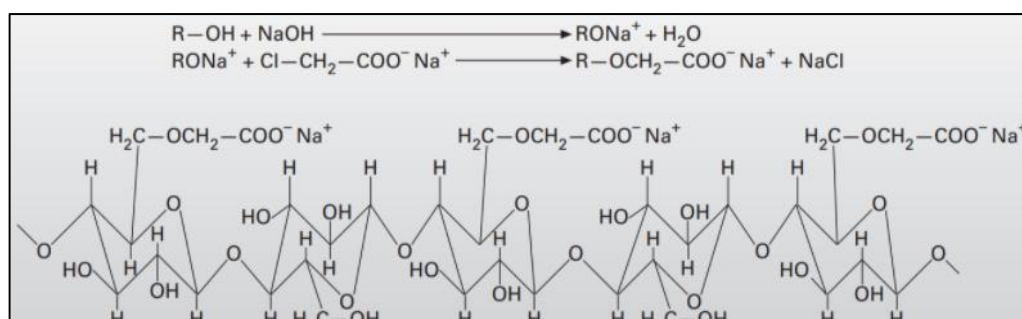


Figura 8 - Estrutura química da Carboximetilcelulose (CMC)

Fonte: Ribeiro et al, 2007, p. 70

2.3.2.3 Propriedades

A carboximetilcelulose (CMC) pode ser encontrada sob várias apresentações, dependendo do tamanho das partículas, grau de substituição, viscosidade, e características de hidratação (CÂNDIDO; CAMPOS, 1996).

A estrutura da celulose permite, teoricamente, a substituição de três hidroxilas em cada molécula de glicose. A carboximetilcelulose com grau de substituição de 0,7 a 1,0 é principalmente usada para aumentar a viscosidade de alimentos. Ela dissolve-se em água e forma um fluido não Newtoniano, cuja viscosidade diminui com o aumento de temperatura. As soluções são estáveis na faixa de pH de 5 a 10, com estabilidade máxima na faixa de pH de 7 a 9 (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

A CMC além de ser hidrossolúvel, suas soluções apresentam viscosidade em elevadas faixas de valor do pH. Funcionam em grande escala, como estabilizantes em sorvetes proporcionando boa textura e corpo com boas propriedades de fusão. Em alimentos dietéticos são empregados como “agentes de corpo” (LIDON; SILVESTRE, 2007).

2.3.3 Goma arábica

2.3.3.1 Origem

Usada há mais de 5.000 anos, a goma arábica ou acácia, como também é conhecida, é a mais antiga e a mais conhecida das gomas naturais. Ela é um exsudado gomoso dessecado dos troncos e dos ramos da *Acacia senegal* ou de outras espécies africanas de acácia, como a *Acacia seyal* (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018).

Esse hidrocoloide natural, nativo e sem modificações químicas ou enzimáticas, é produzido através de um processo físico: a primeira etapa é a de purificação, de forma líquida. Esta etapa remove qualquer tipo de material estranho. Este xarope de goma refinada é esterilizado por tempo curto e alta temperatura, passa por *spray drier* ou instantaneizador e ao fim do processo é empacotado assepticamente. É comercializado em forma de pó, o que o torna uma substância de fácil dissolução (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011).

2.3.3.2 Estrutura

A goma arábica é classificada como um complexo arabinogalactano. Esta substância nativa tem em média um peso molecular entre 300 e 800 kDa. Sua composição é 95% de polissacarídeos em base seca e de 1% a 2% de diferentes espécies de proteínas. Além disso, possui substâncias associadas, como polifenóis e minerais (magnésio, potássio, cálcio, sódio), em cerca de 3% a 4%. (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

Como pode ser observado na Figura 9, ela é formada por um esqueleto proteico com ramificações de arabinogalactanas. A fração polissacarídica é composta por uma cadeia linear de galactose β 1,3 ligadas. Esta cadeia é ramificada na posição 1,6 com cadeias de galactose e arabinose. A ramnose, unidades de ácido glucurônico ou ácido metil-glucurônico, é encontrada nas extremidades das cadeias. A composição da goma acácia e sua estrutura explicam suas propriedades tecnológicas e nutricionais (INGREDIENTES & ADITIVOS, 2011).

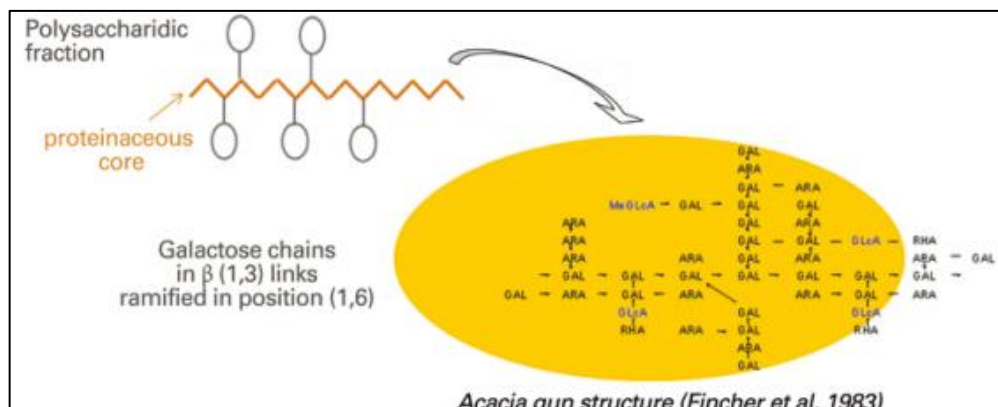


Figura 9 - Estrutura da goma arábica
Fonte: Ingredientes & Aditivos, 2011, p. 39

2.3.3.3 Propriedades

A goma arábica dissolve prontamente em água, gerando soluções claras que variam da coloração amarelo muito pálido para laranja dourado, e com um pH de aproximadamente 4,5 (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2011).

É solúvel em água e produz dispersões de baixa viscosidade. Devido à presença de cargas iônicas, suas soluções sofrem a interferência do pH do meio, apresenta viscosidade máxima na faixa de pH de 6 a 8. É incompatível com gelatina e alginato de sódio, mas é compatível com a maioria das demais goma (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

A goma arábica retarda ou previne a cristalização de açúcar em confeitos, estabiliza emulsões e atua como espessante. Em bebidas, atua como emulsificante e estabilizante de espuma. Apresenta excelentes características de encapsulamento. É um agente fixador de aromas em misturas secas para bebidas (INGREDIENTES & ADITIVOS, 2015).

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Matérias primas

Para produção da cerveja *Pilsen* utilizaram-se como matérias primas: água mineral da Sarandi[®], lúpulo Hallertau Tradition T-90 da Lupex[®], malte de cevada da WE[®], levedura W-34/70 da Algist Bruggeman NV[®], alginato de polipropilenoglicol da Vogler[®], goma CMC da Vogler[®] e goma arábica da Vogler[®].

3.1.2 Equipamentos e utensílios

1. Balança analítica Shimadzu[®] modelo AUY220;
2. Balança semi-analítica Shimadzu[®] modelo UX6200H (com resolução de 0,01g);
3. pHmetro Hexis[®] modelo 420;
4. Refratômetro Instrutherm[®] modelo RT 280;
5. Termômetro digital Technidea[®] modelo 265A;
6. Unidade produtora de cerveja artesanal de 90L (caldeirão de mostura e fervura, bomba de recirculação e trocador de calor em placas) da To Brew[®];
7. Vidrarias e reagentes do laboratório da Unipampa;

3.2 Métodos

3.2.1 Processamento da cerveja *Pilsen*

Para produção de 30 litros de cerveja tipo *Pilsen* utilizou-se como base o procedimento descrito no fluxograma representado na Figura 1 (com adaptação das temperaturas e tempos de processo segundo processo de fabricação da WE[®]).

A primeira etapa de maceração não precisou ser realizada, uma vez que o malte de cevada adquiridos para realização do processo de fabricação da cerveja já estavam previamente moídos conforme granulometria regulamentada.

Como pode ser visualizado através da Figura 10, iniciou-se o processo de fabricação da cerveja através da mosturação em caldeirão de mostura e fervura dos 5,8 kg de malte de cevada, realizado em 2 etapas: a sacarificação e o *Mash Out*.



Figura 10 - Caldeirão de mostura e fervura

Na sacarificação adicionaram-se 17,5 L de água mineral Sarandi[®] aos grãos, aquecendo a uma temperatura de 65 °C por 60 min. Em seguida, na etapa *Mash Out*, essa mistura foi aquecida até 76°C no decurso de 10 min.

Ao final do processo de mosturação, o mosto foi lavado com 28,4 L de água a 75,6 °C, e em seguida para retirada do bagaço da cevada foi filtrado com tecido, como ilustrado na Figura 11.



Figura 11 - Bagaço da cevada dentro do tecido filtrante

Após a filtragem, adicionou-se 25 g de lúpulo da Lupex[®], seguindo para a etapa de fervura, a cerca de 100 °C, por 60 min. Como mostra a Figura 12, posteriormente, com o uso de uma bomba de recirculação e do trocador de calor em placas, a mistura foi direcionada para fermentadores de 10L, e foram adicionadas as leveduras W-34/70.



Figura 12 - Fermentador de cerveja de 10 litros

A fermentação ocorreu em 10 °C durante 20 dias, e mais 4 dias a 12°C. Depois foi realizada a etapa do *Cold crash*, onde a temperatura foi de 0°C durante 3 dias.

Para a etapa de carbonatação fez-se o envase da cerveja em garrafa plástica de 1 L com adição de 5 g/L de açúcar, mais o acréscimo dos hidrocoloides, como mostra a Figura 13. A cerveja foi por fim mantida a temperatura ambiente, para etapa de maturação.



Figura 13 - Adição dos hidrocoloides e açúcar à cerveja

3.2.2 Análise de pH

As análises de pH foram realizadas com pHmetro Hexis modelo 420A. Para comparação das diferentes cervejas entre si utilizou-se o método estatístico do teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

3.2.3 Adição de hidrocoloides

Foram analisados 14 diferentes tipos de hidrocoloides (goma adraganta, goma agar, goma arábica, goma carragena, gomas celulósicas (como a carboximetilcelulose [CMC]), goma gelana, goma ghatti, goma guar, goma karaya, goma locusta, goma xantana, alginatos, gelatina e pectina).

Através de suas características funcionais e propriedades reológicas (espessamento, geleificação, estabilização de suspensões, etc), bem como sua estabilidade em determinada faixa de temperatura ou pH, foram selecionados 3 gomas finais para os testes de estabilidade.

Conforme comprovado por Rojas (2014), analisou-se a estabilidade da solução cerveja-hidrocoloide a frio, em concentrações de 0,01; 0,05 e 0,1g/L.

Rojas (2014) também realizou teste para verificar se existiam diferenças significativas na viscosidade entre os diferentes hidrocoloides em concentrações de: 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,09 e 0,1 g/L.

Conforme os resultados preliminares dos experimentos realizados por Rojas (2014), verificou-se a possibilidade de aumento da concentração dessas gomas sem alteração das características sensoriais da cerveja.

Sendo assim, a adição dos hidrocoloides deu-se na concentração de 0,5 g por litro de cerveja. Eles foram adicionados individualmente e em combinações (0,25 g/L cada) como mostra a Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Combinação de hidrocoloides

Experimento	Hidrocoloide	Quantidade adicionada (g)
1	Arábica	0,50
2	CMC	0,50
3	PGA	0,50
4	Arábica + CMC	0,25 de cada
5	Arábica + PGA	0,25 de cada
6	CMC + PGA	0,25 de cada

3.2.4 Teste de agitação

Procedimento baseado no teste desenvolvido por Knapp e Bamforth (2002), que consiste em sacudir manualmente, dez vezes, 5 mL de cerveja em tubos de ensaio e depois remover imediatamente a tampa do tubo e medir a altura da espuma. Teste realizado em duplicata, mensuração da altura realizada a cada 10 segundos, de 0 a 5 minutos, e em seguida a cada minuto até 10 minutos.

3.2.5 Modelamento matemático da cinética de decaimento da espuma

Os gráficos foram obtidos utilizando-se o software Excel[®] da Microsoft Office[®], através dos resultados das análises de medição do deslocamento da espuma da cerveja, pelo tempo.

Nesses gráficos foram adicionadas linhas de tendências, resultando equações que regem o fenômeno do decaimento da espuma, que depende dos parâmetros/etapas: formação das bolhas, coalescência (aumento da bolha), drenagem e dismutação.

O processo total do decaimento ocorre apenas se os 4 parâmetros implicados na formação e retenção de bolhas sucederem-se, como ilustrado na Figura 14.

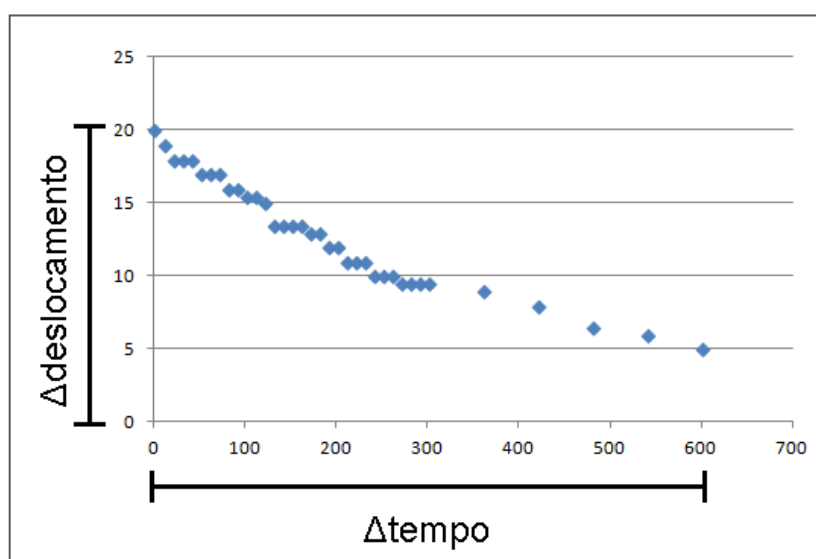


Figura 14 - Cinética do decaimento da espuma até a etapa de dismutação

A estabilidade da espuma será substancialmente definida pelo declínio da espuma devido ao parâmetro da drenagem. Assim, a velocidade relativa desse fenômeno foi calculada utilizando como referencial a amostra que apresentou maior velocidade média de declínio (até ocorrência da drenagem) em comparação com as demais. Onde a velocidade média de declínio é o resultado da variação do deslocamento da espuma pela variação do tempo, como pode ser visualizada na Figura 15.

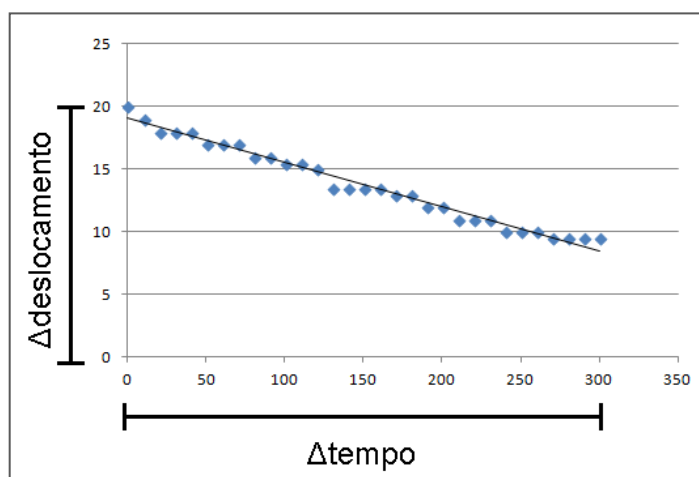


Figura 15 - Modelo gráfico para modelamento matemático da velocidade média de declínio da espuma até a etapa de drenagem

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Análise de pH

Os valores obtidos de pH das cervejas com diferentes concentrações de hidrocoloides encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 - pH das cervejas

Padrão	4,61 ± 0,000
Arábica	4,61 ± 0,014
CMC	4,60 ± 0,028
PGA	4,59 ± 0,000
Arábica + CMC	4,60 ± 0,014
Arábica + PGA	4,60 ± 0,000
CMC + PGA	4,58 ± 0,021

Para realização do teste de Tuckey, fez-se a análise da variância (ANOVA), onde não houve diferença significativa entre nenhuma das cervejas a um nível de significância de 5%

4.2 Modelamento matemático da cinética de decaimento da espuma

A Tabela 8 demonstra, como exemplo, a média dos resultados obtidos durante o teste de agitação da cerveja padrão.

As Figuras 16 e 17 mostram o comportamento gráfico obtido dessa amostra até as etapas de dismutação e drenagem, respectivamente.

A Figura 18 demonstra o processo de decaimento da espuma, com forte ação da etapa de coalescência na cerveja padrão (lado esquerdo), enquanto na cerveja com adição do hidrocoloide CMC (lado direito) esse parâmetro é claramente reduzido.

Tabela 8 - Média dos valores do deslocamento da espuma da cerveja padrão pelo tempo

Tempo (s)	Deslocamento (mm)
0	20,0
10	19,0
20	18,0
30	18,0
40	18,0
50	17,0
60	17,0
70	17,0
80	16,0
90	16,0
100	15,5
110	15,5
120	15,0
130	13,5
140	13,5
150	13,5
160	13,5
170	13,0
180	13,0
190	12,0
200	12,0
210	11,0
220	11,0
230	11,0
240	10,0
250	10,0
260	10,0
270	9,5
280	9,5
290	9,5
300	9,5
360	9,0
420	8,0
480	6,5
540	6,0
600	5,0

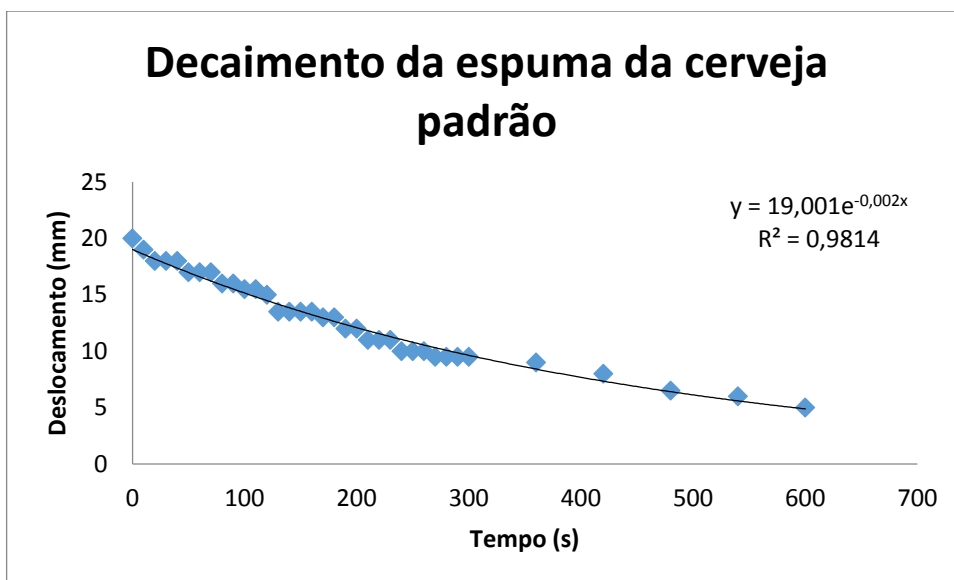


Figura 16 - Decaimento de espuma da cerveja padrão (sem adição de hidrocoloides) até a etapa de dismutação

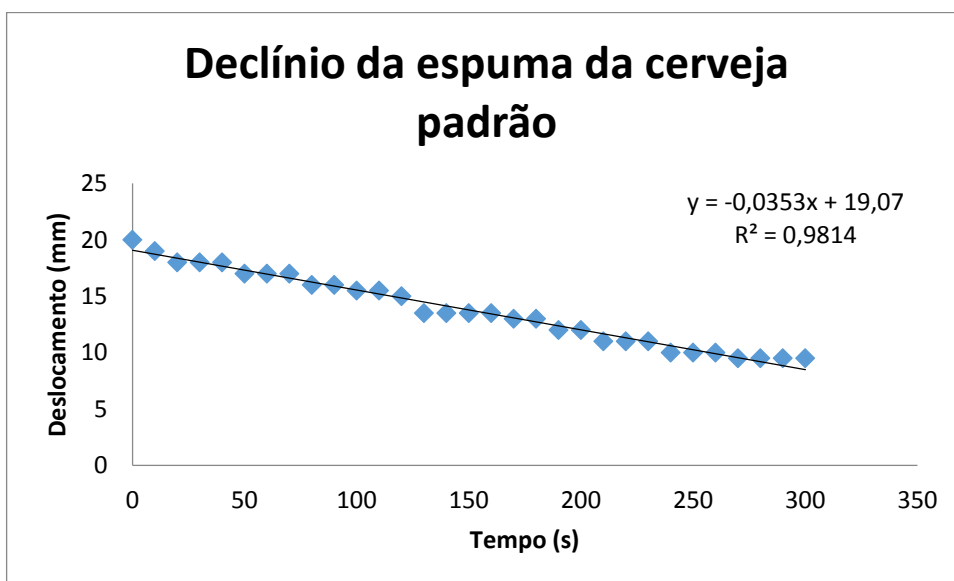


Figura 17 - Declínio de espuma da cerveja padrão (sem adição de hidrocoloides) até a etapa de drenagem

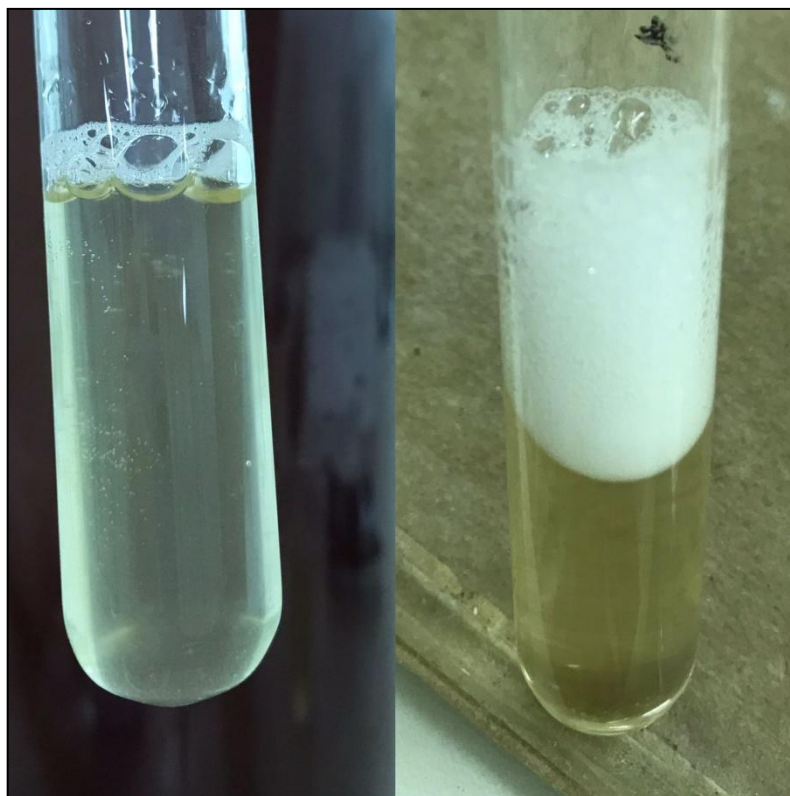


Figura 18 - Efeito da coalescência em cerveja sem e com adição de hidrocoloide

Após a produção de todos os gráficos, presentes no apêndice, observou-se um comportamento exponencial no decaimento da espuma na cerveja que não possuía a adição de hidrocolides, enquanto as cervejas que possuem aditivos apresentaram tendência de linearização.

Através dos experimentos foi possível observar uma coalescência menor nas cervejas que foram adicionadas de hidrocoloides, além de um processo de drenagem mais demorado.

Como a estabilidade da espuma é imensamente definida pelo declínio da espuma devido ao parâmetro da drenagem, estudou-se a ação dos hidrocoloides na cerveja até o final dessa etapa.

A Equação 6 é demonstrativa do processo observado.

$$D_t = a \cdot t + b \quad (5)$$

Onde:

D_t = Deslocamento da espuma no tempo t (mm)

a = Coeficiente angular da reta (mm/s)

t = Tempo (s)

b = Deslocamento da espuma no tempo $t = 0$

O valor de a mensura o coeficiente de cinética de decaimento nas amostras que está associada a desestabilização do produto.

A Tabela 9 mostra os coeficientes cinéticos obtidos através dos modelos matemáticos obtidos pelo teste de agitação.

Tabela 9 - Demonstração em ordem decrescente do decaimento da espuma da cerveja, representado pelo seu coeficiente de cinética a

Goma	a	R^2
Padrão	-0,0353	0,9814
Arábica	-0,0332	0,9745
Arábica + PGA	-0,0328	0,9881
CMC	-0,0242	0,9708
Arábica + CMC	-0,0236	0,9853
CMC + PGA	-0,0219	0,9435
PGA	-0,0219	0,9858

Observa-se que os valores de a apresentam correlação direta com a velocidade de decaimento, o que era esperado dada a aproximação obtida pelo modelo matemático aos valores experimentais observado pelos elevados valores de R^2 .

Assim, quanto maior o valor absoluto de a mais rápido é o decaimento da espuma, e conseqüentemente menos estável.

Para melhor entendimento do resultado exibido, foi calculada também a velocidade média do decaimento da espuma de cada cerveja, apresentada abaixo na Tabela 10.

Tabela 10 - Representação da velocidade média e relativa de decaimento da espuma

Goma	Altura inicial da espuma (mm)	Altura final da espuma (mm)	Tempo (s)	Velocidade média (mm/s)	Velocidade relativa (%)	Redução da velocidade (%)
Padrão	20	9,5	300	0,0350	100,0	0
Arábica	20	10	300	0,0333	95,2	4,8
Arábica + PGA	25	16	300	0,0300	85,7	14,3
CMC	20	12	300	0,0267	76,2	23,8
Arábica + CMC	25	17,5	300	0,0250	71,4	28,6
CMC + PGA	25	18	300	0,0233	66,7	33,3
PGA	20	14	300	0,0200	57,1	42,9

A velocidade relativa (%) e a taxa de redução da velocidade (%) foram calculadas com base na amostra que apresentou a maior velocidade de decaimento da espuma (padrão), e são demonstradas na tabela 10.

Como observado o fenômeno que possui maior influência no decaimento da espuma é a drenagem. Assim, como afirma Bamforth (2004) a viscosidade é o fator mais significativo dessa etapa.

Segundo Cândido et al (1996) os hidrocoloides são compostos macromoleculares que produzem soluções ou misturas viscosas, e o interesse em seu está justamente baseado no seu comportamento reológico.

Como Leite (2009) prediz os hidrocoloides quando solubilizados se reorganizam de maneira a formarem uma ligação com as moléculas de água (efeito de espessamento), como é o caso da goma arábica, CMC e PGA.

Todos os hidrocoloides podem apresentar propriedades funcionais, mas que dependem principalmente da temperatura e pH do meio, além de outros parâmetros como seus pesos moleculares, como mostra Cândido et al (1996).

Como pode ser observada na Figura 19, a cerveja sem adição de gomas apresentou uma etapa de drenagem muito rápida, enquanto as demais drenavam suas bolhas de forma mais lenta, esse fato deve-se ao aumento da viscosidade proporcionada ao meio através dos hidrocoloides.

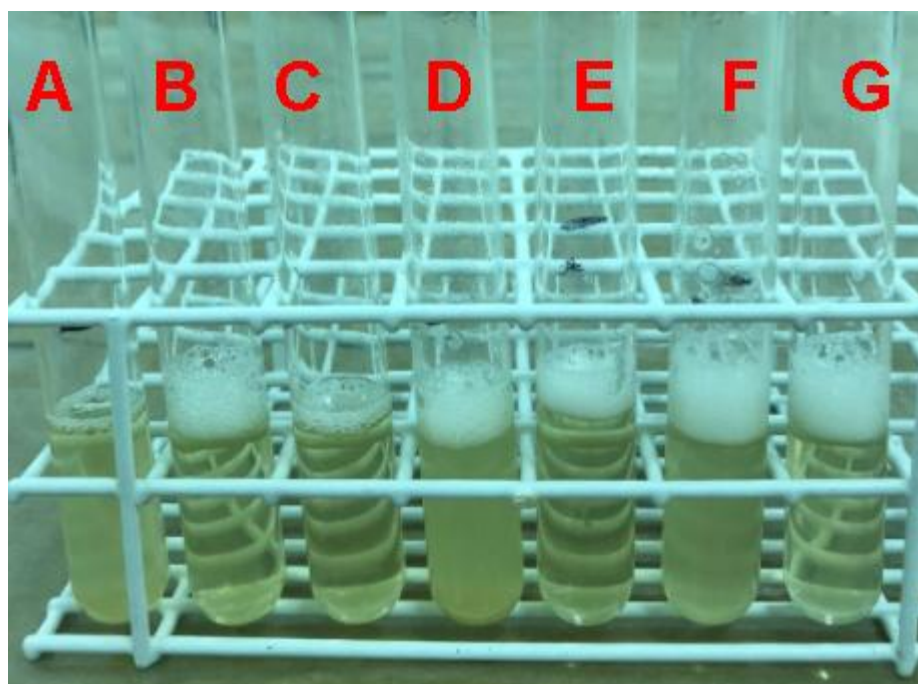


Figura 19 - Decaimento da espuma de cerveja
A: Padrão. B: PGA. C: Arábica. D: CMC. E: Arábica e PGA. F: CMC e PGA. G: Arábica e CMC

Observou-se através do teste de agitação que as cervejas que adicionadas de um único hidrocoloide geraram espumas de 20 mm de altura, enquanto aquelas adicionadas de combinações de hidrocoloides apresentaram espumas de 25 mm de altura. Esse fenômeno aconteceu devido à simbiose dos hidrocoloides.

Nota-se que a goma arábica reduziu a velocidade do decaimento da espuma em apenas 4,8 %, sendo o aditivo que menos impediu o processo da drenagem. Esse fato ocorreu, conforme Ribeiro et al (2004) afirma, pois a goma arábica produz dispersões de baixa viscosidade, sendo o aspecto mais importante para a etapa da drenagem.

A cerveja adicionada de CMC reduziu a velocidade do decaimento da espuma em 23,8 %. Segundo Ribeiro et al (2004), os fatores que regem esse resultado são: a capacidade de produzir uma solução de alta viscosidade, porém que se mantém estável a uma faixa de pH de 5 a 10. Como o pH da cerveja com CMC é de 4,6, poderia apresentar uma estabilidade da espuma maior caso estivesse em sua faixa de pH ideal.

Mesmo com a adição dos hidrocoloides sendo muito baixa, e não gerando diferença significativa quanto a viscosidade da cerveja, conforme mostrado nos experimentos de Rojas (20014), a cerveja adicionada de CMC apresentou um maior “mouth feel” ou seja, uma sensação de preenchimento maior na boca, fato característico da goma como mostra Lidon et al (2007), sendo comumente empregada como “agente de corpo”.

Como afirma Oliver et al (2020), a turbidez na cerveja pode ser causada principalmente é devida às ligações cruzadas de certas proteínas com polifenóis, que podem ser adsorvidas em hidrogéis. Os hidrocoloides atuaram como “clarificantes” na cerveja, com exceção do CMC que manteve a cerveja turva.

Por fim, o hidrocoloide que melhor estabilizou a espuma da cerveja foi o PGA, pois teve a melhor redução da velocidade de decaimento (42,9%). Isso se deve ao fato de que o PGA além de fornecer viscosidade ao meio, conforme afirma Marshall et al (2003), seus grupos hidrofóbicos também conferem às moléculas uma leve atividade interfacial, ou seja, ajuda com a estabilidade da espuma conforme expõe Damodaran et al (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos mostram que hidrocoloides utilizados em conjunto formam maior altura de espuma e, tendência à linearização do decaimento da espuma, que por sua vez se torna mais lento, em razão de seu sinergismo.

O PGA foi o melhor estabilizador de espuma de cerveja Pilsen, reduzindo a velocidade do decaimento da espuma em 42,9%.

A CMC não atribui melhores resultados à estabilização da cerveja, pois não foi utilizada em sua faixa ideal de pH.

Enquanto a utilização da goma arábica em cerveja, como aditivo para estabilização da espuma, não é ideal.

REFERÊNCIAS

ADITIVOS & INGREDIENTES. **A goma acácia**. São Paulo: Insumos, n. 79, p. 39-42, jun/2011. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201604/2016040621642001460595310.pdf>. Acesso em 05 out 2020.

ADITIVOS & INGREDIENTES. **As grandes gomas**. São Paulo: Insumos, n. 116, p. 25-38, mar/2015. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201604/2016040916455001460595241.pdf>. Acesso em 05 out 2020.

ADITIVOS & INGREDIENTES. **Os tipos de gomas e suas aplicações na indústria**. São Paulo: Insumos, n. 79, p. 30-39, jun/2011. Disponível em: <https://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201601/2016010030333001453488327.pdf>. Acesso em 05 out 2020.

ALVES, L. M. F. **Análise físico-química de cervejas tipo *pilsen* comercializadas em Campina Grande na Paraíba**. 2014. 42 f. Dissertação (Graduação em Química Industrial) – Curso de Química Industrial a Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2014. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/3965>>. Acesso em 22 set 2020.

BAMFORTH, C. W. et al. **Handbook of Alcoholic Beverages: Beer, a Quality Perspective**. Burlington: Elsevier, 2009.

BAMFORTH, C. W. **The relative significance of physics and chemistry for beer foam excellence: Theory and practice**. Journal of the Institute of Brewing, v. 110, p. 259-266, 2004. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2050-0416.2004.tb00620.x>>. Acesso em 20 set 2020.

BAXTER, E. D.; HUGHES, P. S. **Beer: Quality, Safety and Nutritional Aspects**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001.

BEER ART. **O mapa de cerveja no Brasil**. 2020. Disponível em: <[https://revistabeerart.com/news/cervejarias-brasil#:~:text=Em%202019%2C%20o%20Brasil%20chegou,36%25%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202018.&text=Os%20dados%20est%C3%A3o%20no%20Anu%C3%A1rio,12%20de%20mar%C3%A7o\)%20pelo%20Mapa](https://revistabeerart.com/news/cervejarias-brasil#:~:text=Em%202019%2C%20o%20Brasil%20chegou,36%25%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%202018.&text=Os%20dados%20est%C3%A3o%20no%20Anu%C3%A1rio,12%20de%20mar%C3%A7o)%20pelo%20Mapa)>. Acesso em 09 set 2020.

CÂNDIDO, L. M. B.; CAMPOS, A. M. **Alimentos para fins especiais: dietéticos**. São Paulo: Varela, 1996.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 5 ed. São Paulo: Artmed, 2018.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê das Gomas**. Insumos, São Paulo, n. 32, p. 2-22, 2015. Disponível em: <https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060956712001466776436.pdf>. Acesso em 06 out 2020.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **As gomas exsudadas de plantas**. Insumos, São Paulo, n. 17, p. 2-22, 2011. Disponível em: <https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060002606001467219922.pdf>. Acesso em 06 out 2020.

GARCIA-CRUZ, C. A.; SCAMPARINI, A. R. P. **Efeito da adição de hidrocolóides em sistemas modelo carne-água**. Alimentos e nutrição, Araraquara, v. 4, p. 21-32, 1992. Disponível em: <<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewArticle/706>>. Acesso em 16 set 2020.

LEITE, T. D. **Estudo da interação entre amido de mandioca e gomas e efeito de sua aplicação em bebida láctea fermentada**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia de Alimentos) – Curso de Tecnologia em Alimentos, Instituto e Biociências, Letras e Ciências a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, São José do Rio Preto, 2009. Disponível em: <<https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/88390>>. Acesso em 05 out 2020.

LIDON, F.; SILVESTRE, M. M. **Indústrias Alimentares: Aditivos e Tecnologia**. São Paulo: Escolar, 2007.

MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice Cream**. 6 ed. New York: Springer-Verlag, 2003.

MESTRE CERVEJEIRO. **Por que a Pilsen revolucionou o mundo das cervejas e conquistou o mundo**. 2020. Disponível em: <[OLIVER, G.; MENDES, I. **O guia Oxford da cerveja**. São Paulo: Blucher, 2020.](http://mestrecervejeiro9.globo.com/guia-da-cerveja/revolucao-pilsen.html#:~:text=N%C3%A3o%20tardou%20para%20o%20estilo,o%20%C3%ADndice%20chega%20a%2098%25.>. Acesso em 01 nov 2020.</p></div><div data-bbox=)

PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. **Handbook of hydrocolloids**. New York: Crc, 2000.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de Alimentos**. 2 ed. São Caetano do Sul: Edgard Blucher Ltda, 2007.

RODRIGUES, J.; PAULA, R. C. M.; COSTA, S. M. **Métodos de isolamento de gomas naturais: Comparação através do Cajueiro (Anacardium Occidentale L.)**. Polímeros, São Carlos, v. 3, n. 1, p. 31-36, jan/1993-mar/1993. Disponível em: <<https://revistapolimeros.org.br/article/588371337f8c9d0a0c8b479c>>. Acesso em 03 out 2020.

ROJAS, S. A. T. **Estudo do uso de hidrocoloides como estabilizante de espuma em cervejas**. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Curso de Engenharia de Alimentos a Universidade Estadual de Campinas.

Campinas, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256410>>. Acesso em 20 set 2020.

SINDICERV. Sindicato Nacional da indústria da cerveja. **O setor em números**. 2016. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>>. Acesso em 09 set 2020.

VENTURINI FILHO, W. G. (coord.). **Bebidas alcoólicas: Ciência e tecnologia**. v.1. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2016.

APÊNDICE

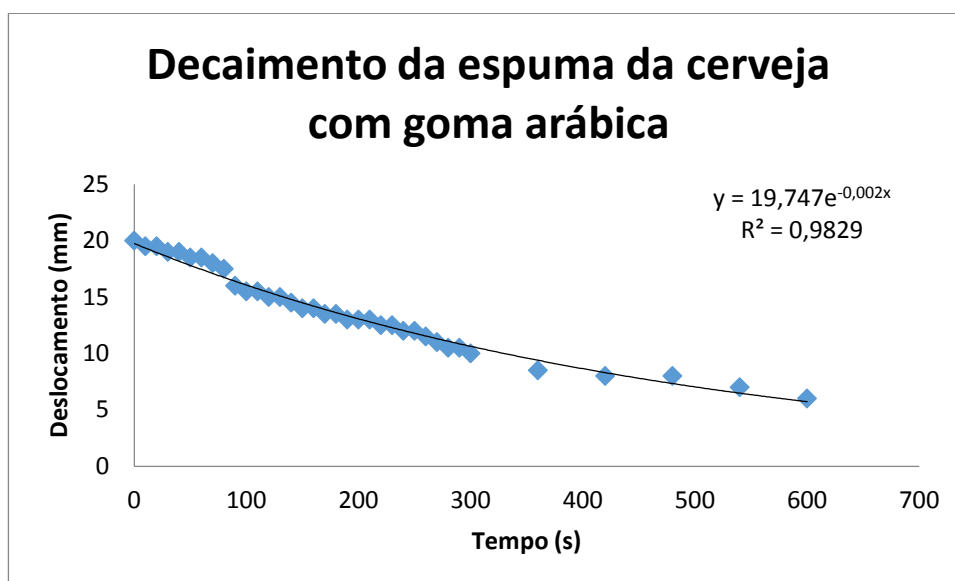


Figura 20 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de goma arábica até a etapa de dismutação

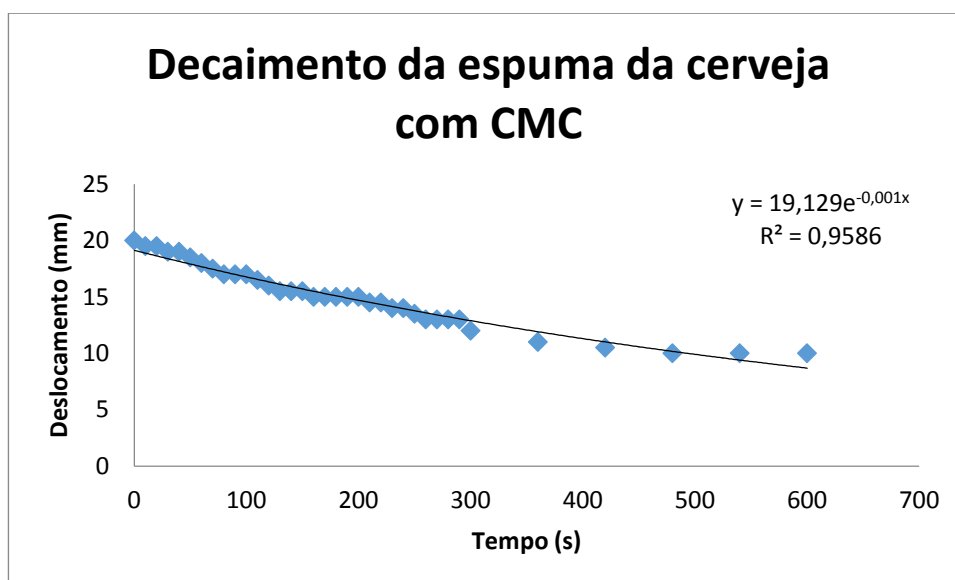


Figura 21 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de CMC até a etapa de dismutação

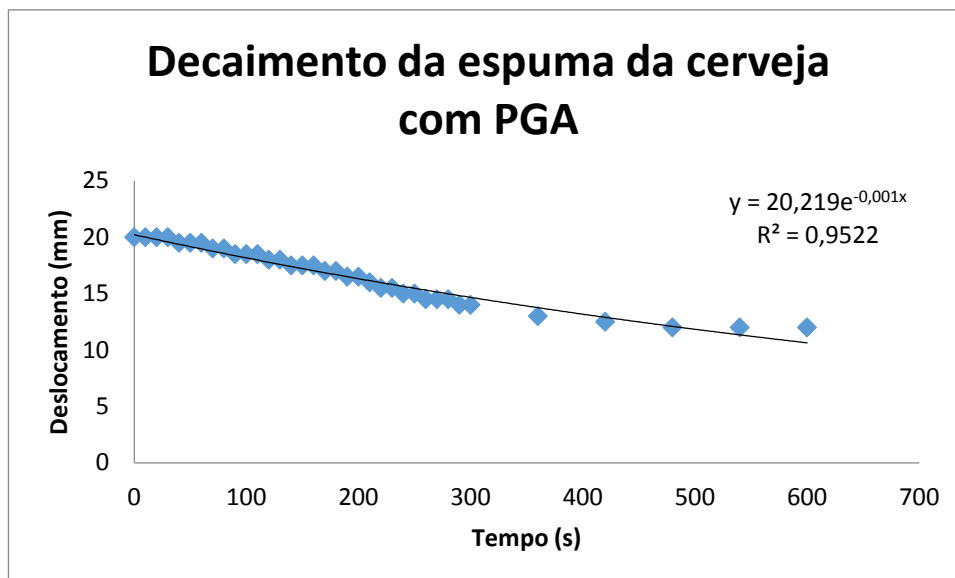


Figura 22 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de PGA até a etapa de dismutação

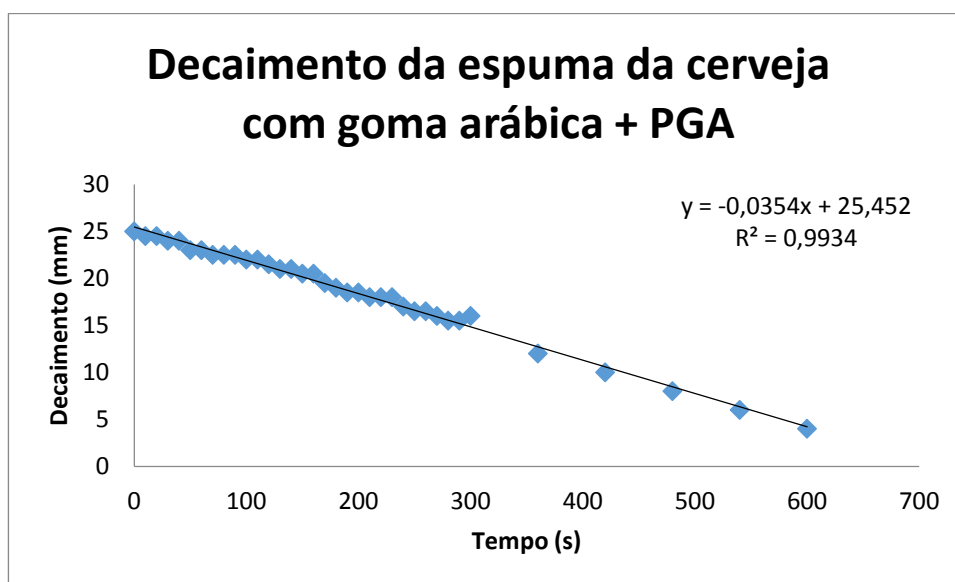


Figura 23 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de goma arábica e PGA até a etapa de dismutação

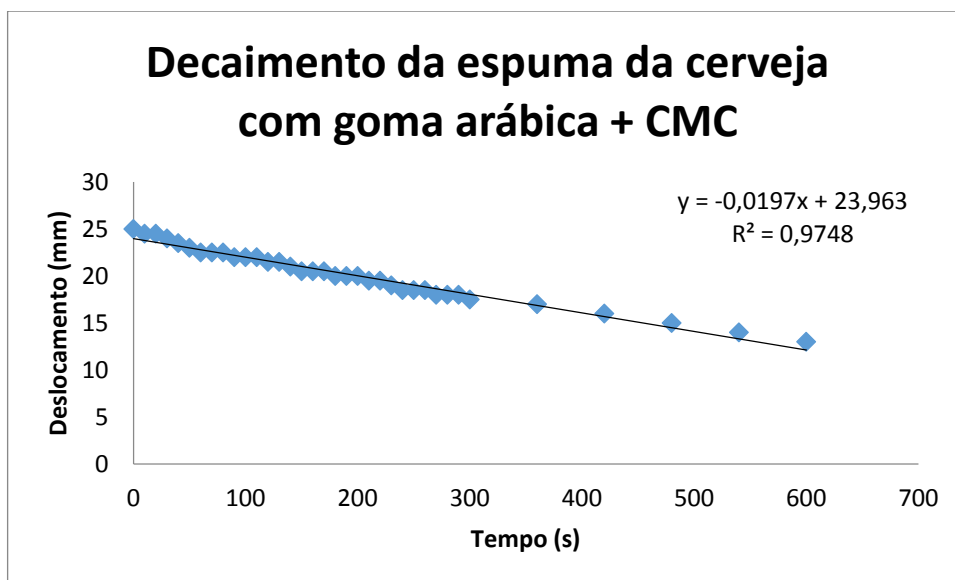


Figura 24 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de goma arábica e CMC até a etapa de dismutação

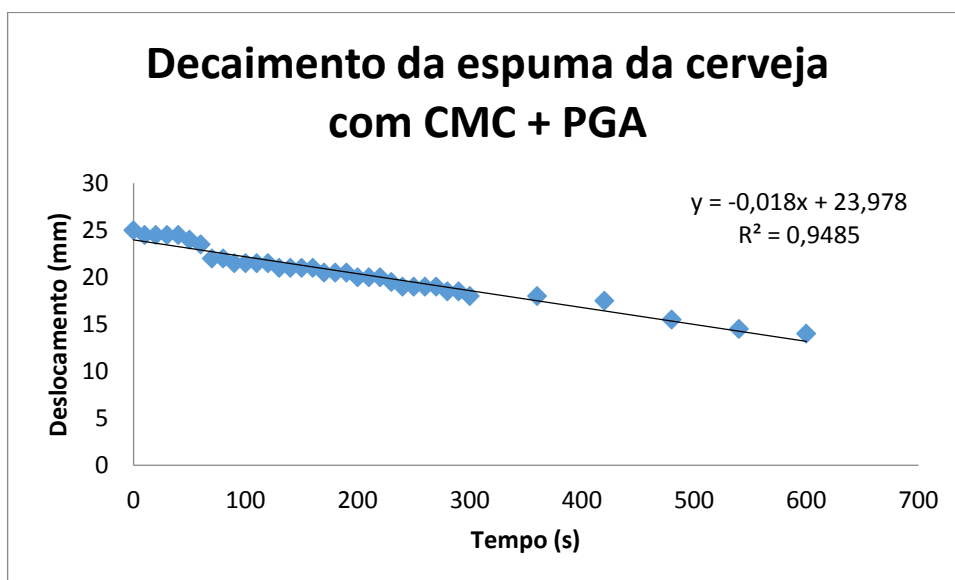


Figura 25 - Decaimento da espuma da cerveja com adição de CMC e PGA até a etapa de dismutação

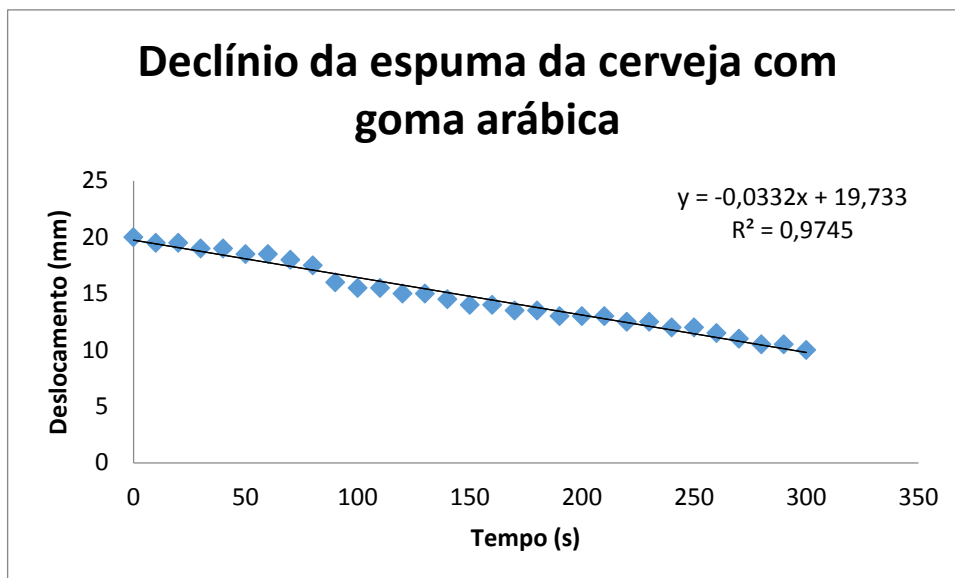


Figura 26 - Declínio da espuma da cerveja com adição de goma arábica até a etapa de drenagem

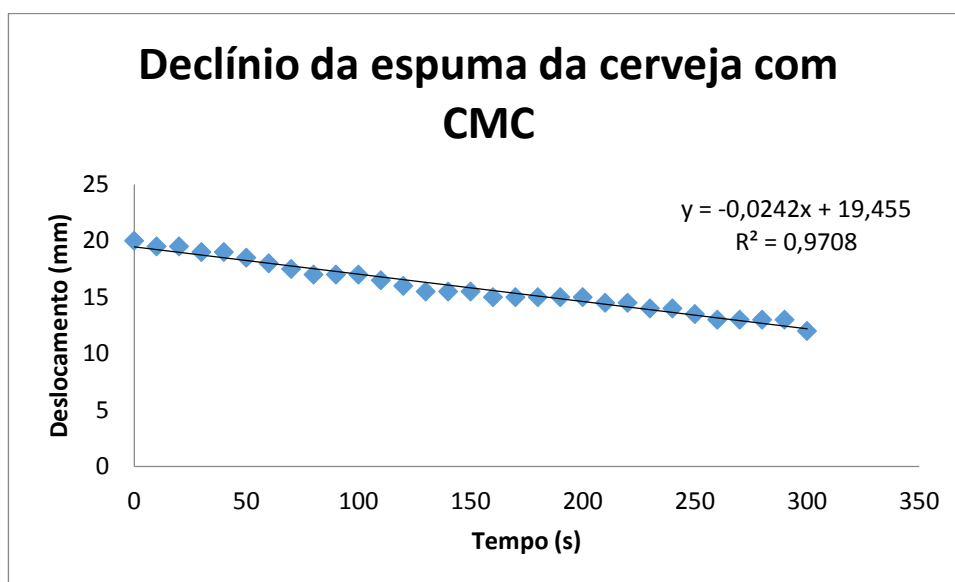


Figura 27 - Declínio da espuma da cerveja com adição de CMC até a etapa de drenagem

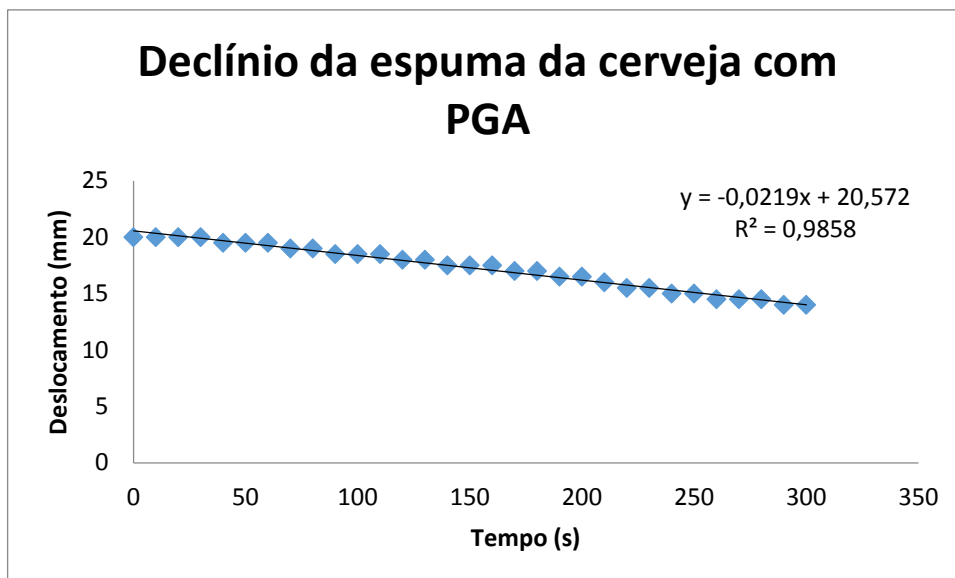


Figura 28 - Declínio da espuma da cerveja com adição de PGA até a etapa de drenagem

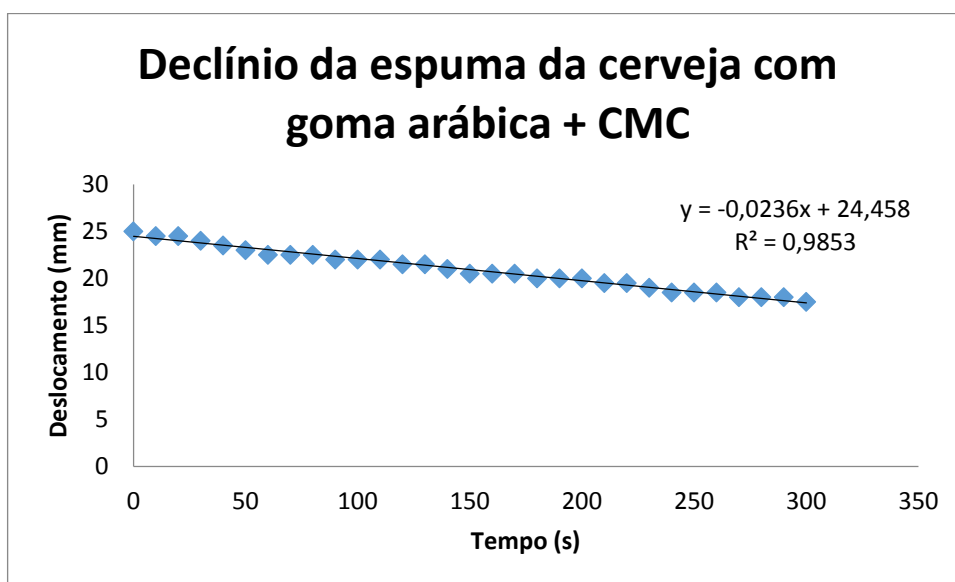


Figura 29 - Declínio da espuma da cerveja com adição de goma arábica e CMC até a etapa de drenagem

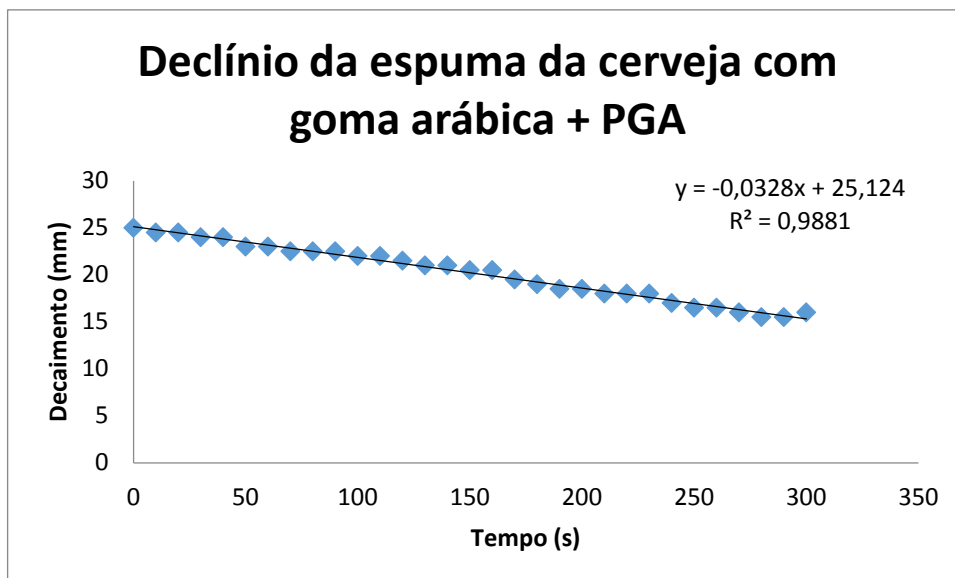


Figura 30 - Declínio da espuma da cerveja com adição de goma arábica e PGA até a etapa de drenagem

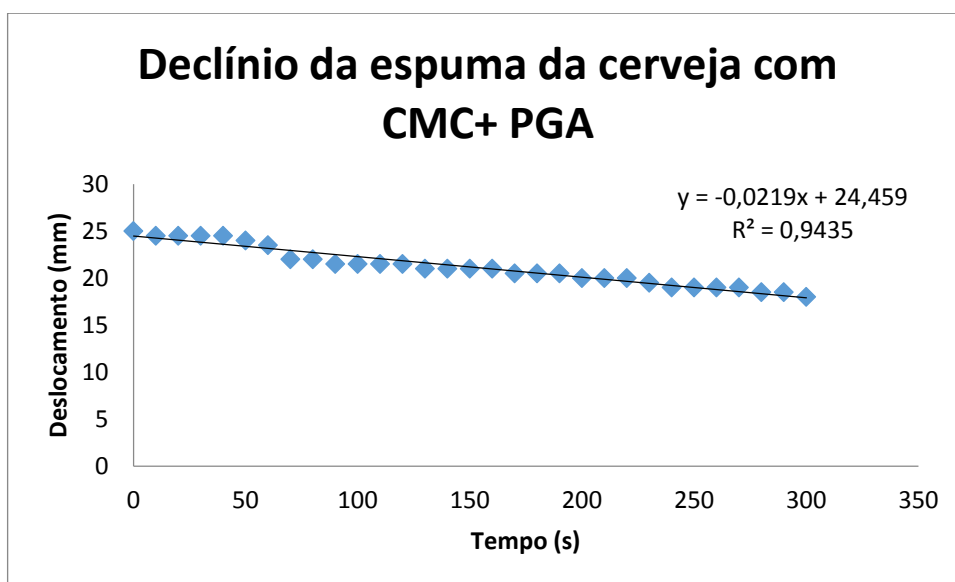


Figura 31 - Declínio da espuma da cerveja com adição de CMC e PGA até a etapa de drenagem