

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 04/03/2022.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de São José do Rio Preto

José Eduardo Grefener Filho

**Efeito da Temperatura e Graus Plato no Comportamento Reológico
do Mosto de Cerveja Lupulado Tipo Lager**

São José do Rio Preto
2020

José Eduardo Grefener Filho

**Efeito da Temperatura e Graus Plato no Comportamento Reológico
do Mosto de Cerveja Lupulado Tipo Lager**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero
Coorientador: Dr. Denis Cantú Lozano

São José do Rio Preto
2020

G817e	<p>Grefener Filho, José Eduardo</p> <p>Efeito da Temperatura e Graus Plato no Comportamento Reológico do Mosto de Cerveja Lupulado Tipo Lager / José Eduardo Grefener Filho. -- São José do Rio Preto, 2020</p> <p>119 f. : Il., tabs.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto</p> <p>Orientador: Javier Tellis Romero</p> <p>Coorientador: Denis Cantù Lozano</p> <p>1. Reologia. 2. Calor Transmissão. 3. Controle de Processos. 4. Beer Industry. 5. Hordeum Sativum. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

José Eduardo Grefener Filho

**Efeito da Temperatura e Graus Plato no Comportamento Reológico
do Mosto de Cerveja Lupulado Tipo Lager**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de São José do Rio Preto.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Javier Telis Romero
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)
Orientador – São José do Rio Preto - SP

Prof. Dr. Gisandro Reis de Carvalho
Universidade de São Paulo (USP)
Piracicaba – SP

Prof. Dr. Elson Avallone
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo (IFSP)
Catanduva - SP

São José do Rio Preto
04 de setembro de 2020

Dedico as pessoas que nada me inspiram e criticam de forma destrutiva as minhas escolhas, contudo saibam sem vocês nenhuma conquista valeria a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores do departamento de *Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos*. Ao **Dr. Javier Telis Romero e Dr. Denis Cantu Lozano**, pelo incentivo a execução desse trabalho, acrescentando meu conhecimento e enriquecendo minha pesquisa científica. À minha **mãe** e ao meu **pai**, pelo ensinamento de que “tudo o que começamos em nossa vida devemos terminar e nunca deixar uma porta aberta”, por todos os anos de companheirismo e amor em todos os aspectos da minha vida, pelo apoio em todos os momentos, me ensinando a ser forte e sempre alegre. A eles, o meu sincero “muito obrigado” por toda alegria, apoio incondicional e estímulo que sempre injetaram em minha vida.

Meus agradecimentos a todos colegas de classe, companheiros de trabalhos, para aqueles que fizeram diferença em minha formação acadêmica, ensinando-me que a vida sempre pode ser intensamente vivida se levada com belo sorriso no rosto.

Agradeço ao técnico de laboratório do *Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus São José do Rio Preto* por proporcionar-me o conhecimento não apenas racional.

Finalmente, tomo como minhas palavras a de Chico Xavier citando em uma ilustre frase: “agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mas as críticas nos auxiliam muito!”.

RESUMO

A viscosidade é uma propriedade física de amplo interesse, pois é um fator fundamental para cálculos que envolvem a seleção e dimensionamento de equipamentos. Este trabalho aborda a produção do mosto cervejeiro tipo lager, produto obtido da mistura do malte de cevada e adjunto de malte (grits de milho), em água tratada, na proporção de 65/35 (malte/adjunto). A obtenção do mosto consistiu nos processos de mosturação, filtração, fervura e resfriamento. Além disso, o comportamento reológico foi determinado nas temperaturas de 1 a 95 °C, concentrações de 1 a 27 °P e taxa de deformação variando entre 1,057 a 263,673 s⁻¹. Para estudar o efeito da temperatura e concentração no comportamento reológico, fez-se o uso de um reômetro rotacional de cilindros concêntricos, os ensaios ocorreram em triplicatas, no laboratório de propriedades físicas da Unesp no campus de São José do Rio Preto. O modelo de Oswald-de-Waale foi ajustado aos dados experimentais, sendo este avaliado, pelo coeficiente de determinação (R²) e Erro Médio Relativo, no programa OriginPro 8.0. Análises de variância (ANOVA) foram efetuadas para verificar se a viscosidade variou significativamente com a temperatura para uma determinada concentração ($\alpha = 0,01$), no software Minitab 17. A relação entre temperatura e viscosidade foi descrita por uma equação tipo Arrhenius e o efeito entre concentração e viscosidade pelo modelo da potência e exponencial. Além disso, foi proposto o modelo combinado em função da temperatura e concentração para descrever o comportamento reológico. Pode-se concluir que o mosto cervejeiro se comportou como um fluido newtoniano em todas as temperaturas e concentrações, pois o índice de comportamento se apresentou igual a unidade com $R^2 > 0,999 \pm 0,0001$. O aumento da temperatura reduziu significativamente a viscosidade ($p < 0,05$), apresentando valores de energia de ativação entre $9,633 \pm 0,318$ a $15,349 \pm 0,273$ KJ/mol, com R^2 superior a $0,982 \pm 0,003$. A concentração demonstrou correlação positiva com a viscosidade e, o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste com $R^2 > 0,9377$. Esta dependência pode ser observada no modelo combinado em função da temperatura (T) em [K] e concentração (C) em [°P], resultando na viscosidade absoluta (μ_{ab}) em [Pa.s], com $R^2 > 0,961 \pm 0,001$.

Palavras-chave: mosto lupulado. Viscosidade mosto lager. Viscosidade mosto lupulado. Reologia. Líquido Newtoniano.

ABSTRACT

Viscosity is a physical property of wide interest, as it is a fundamental factor for calculations involving the selection and dimensioning of equipment. This work deals with the production of lager hopped wort, a substance obtained from the mixture of barley malt and malt adjunct (corn grits), in treated water, in the proportion of 65/35 (malt/adjunct). The obtaining of the wort consisted of the processes of mashing, filtration, boiling and cooling. In addition, the rheological behavior was determined at temperatures from 1 to 95°C, concentrations from 1 to 27°P and strain rate varying between 1.057 to 263.673 s⁻¹. In order to study the effect of temperature and concentration on rheological behavior, a rotational concentric cylinder rheometer was used, the tests are carried out in triplicates. The experimental data were adjusted in the Oswald-de-Waale model, which was evaluated by the coefficient of determination (R²) and Relative Mean Error, in the OriginPro 8.0 softwares. Analysis of variance (ANOVA) was performed to verify whether the viscosity varied significantly with temperature for a given concentration ($\alpha < 0.01$), in the Minitab 17 software. The relationship between temperature and viscosity was described by an Arrhenius equation and the effect between concentration and viscosity by the power and exponential model. In addition, a combined model of temperature and concentration was proposed to describe the rheological behavior. It can be concluded that the hopped wort behaved like a Newtonian fluid at all temperatures and concentrations, presenting (R² > 0.999 ± 0.0001). The increase in temperature significantly reduced the viscosity ($p < 0.05$), with activation energy values between 9.633 ± 0.318 to 15.349 ± 0.273 KJ/mol, R² > 0,982 ± 0,003. The concentration showed a positive correlation with viscosity and the exponential model demonstrated the best fit with R² > 0.9377. This dependence can be seen in the combined model, of the temperature (T) in [K] and concentration (C) in [°P], resulting in the absolute viscosity (μ_{ab}) em [Pa.s], R² > 0,961 ± 0,001.

Keywords: hopped wort. Wort lager viscosity. Hopped wort viscosity. Rheology. Newtonian liquid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Estrutura do grão de cevada: seção longitudinal	14
Figura 2:	Diagrama de aromas de malte tipo Pilsen	17
Figura 3:	Lúpulo: a) Cultivo da planta; b) Flor de lúpulo; c) Estrutura da flor	19
Figura 4:	Lúpulo: a) na forma de pellets; b) in natura (flores desidratadas); c) extrato líquido isomerizado	21
Figura 5:	Processamento dos dois principais tipos de cerveja	23
Figura 6:	Mosturação: a) por infusão; b) por decocção de três fervuras.	25
Figura 7:	Curva de mosturação em patamares de temperatura/repouso para cerveja do tipo pilsen	27
Figura 8:	Classificação do comportamento reológico de fluidos	31
Figura 9:	Reogramas e viscosidade aparente do comportamento de fluidos não newtonianos independentes do tempo: a) Newtoniano; b) Plásticos de Bingham; c) Pseudoplásticos; d) Dilatantes;	33
Figura 10:	Parâmetros da equação de Arrhenius	36
Figura 11:	Perfil quantitativo (gráfico radar) do lúpulo Chinook	42
Figura 12:	Curva do processo de mosturação	46
Figura 13:	Reograma do mosto lupulado do tipo lager nas concentrações: a) 1 grau Plato; b) 3 graus Plato; c) 6 graus Plato; d) 9 graus Plato; e) 12 graus Plato; f) 15 graus Plato; g) 18 graus Plato; h) 21 graus Plato; i) 24 graus Plato; j) 27 graus Plato	49
Figura 14:	Curva de Viscosidade absoluta da amostra de mosto do tipo lager pelo modelo de Arrhenius: a) 1 grau Plato; b) 3 graus Plato; c) 6 graus Plato; d) 9 graus Plato; e) 12 graus Plato; f) 15 graus Plato; g) 18 graus Plato; h) 21 graus Plato; i) 24 graus Plato; j) 27 graus Plato	64
Figura 15:	Curva de Viscosidade absoluta da amostra de mosto do tipo lager por meio do modelo Potencial nas temperaturas: a) 1°C; b) 5°C; c) 10°C; d) 15°C; e) 20°C; f) 25°C; g) 30°C; h) 35°C; i) 40°C; j) 45°C; k) 50°C; l) 55°C; m) 60°C; n) 65°C; o) 70°C; p) 75°C; q) 80°C; r) 85°C; s) 90°C; t) 95°C	68
Figura 16:	Curva de Viscosidade absoluta da amostra de mosto do tipo lager por meio do modelo Exponencial nas temperaturas: a) 1°C; b) 5°C; c) 10°C; d) 15°C; e) 20°C; f) 25°C; g) 30°C; h) 35°C; i) 40°C; j) 45°C; k) 50°C; l) 55°C; m) 60°C; n) 65°C; o) 70°C; p) 75°C; q) 80°C; r) 85°C; s) 90°C; t) 95°C	71
Figura 17:	Efeito combinado da concentração e da temperatura sobre a viscosidade absoluta do mosto do tipo lager a) Arrhenius + modelo potencial; b) Arrhenius + modelo exponencial;	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Composição do grão de cevada e do malte	15
Tabela 2:	Composição química do lúpulo em flor	20
Tabela 3:	Valores de granulometria do malte na indústria	24
Tabela 4:	Temperatura e pH da atuação enzimática	27
Tabela 5:	Parâmetros de qualidade da água proveniente da rede pública da cidade de São José do Rio Preto	29
Tabela 6:	Dados Técnicos Malte pilsen Château safra de 2018	40
Tabela 7:	Porcentagem do constituinte total indicado nas estruturas físicas específicas do grão de milho	41
Tabela 8:	Propriedades e composição do Lúpulo Chinook	42
Tabela 9:	Quantidade de malte, adjunto, lúpulo e água na produção do mosto cervejeiro	45
Tabela 10:	média \pm desvio padrão ($\times 10^{-6}$) do índice de fluxo (η) para a equação de Ostwald-de-Waele para o mosto de cerveja tipo lager em diversas concentrações e temperaturas	52
Tabela 11:	média \pm desvio padrão da Viscosidade (mPa.s) para a equação de Ostwald-de-Waele do mosto do tipo lager em diversas concentrações e temperaturas	55
Tabela 12:	média \pm desvio padrão do coeficiente de variação (R^2) para a equação de Ostwald-de-Waele do mosto do tipo lager em diversas concentrações e temperaturas	57
Tabela 13:	média \pm desvio padrão do Erro Médio Relativo (%) para a equação de Ostwald-de-Waele do mosto do tipo lager em diversas concentrações e temperaturas	59
Tabela 14:	média \pm desvio padrão dos parâmetros do modelo de Arrhenius, energia de ativação (E_a), fator pré-exponencial (η^∞), coeficiente de determinação (R^2) e erro relativo para o mosto do tipo lager	62
Tabela 15:	média \pm desvio padrão dos parâmetros para o Modelo Potencial, constantes empíricas A_0 e B_0 , coeficiente de determinação e erro relativo para o mosto do tipo lager	66
Tabela 16:	média \pm desvio padrão dos parâmetros para o Modelo Exponencial, constantes empíricas A_0 e B_0 , coeficiente de determinação e erro relativo para o mosto do tipo lager	67
Tabela 17:	média \pm desvio padrão dos parâmetros para os modelos de efeito combinado da concentração e temperatura, constantes empíricas A_0 e B_0 , energia de ativação, coeficiente de determinação e erro relativo para o mosto do tipo lager	75
Tabela 18:	média (Shear Stress) \pm desvio padrão (Sd), para os dados experimentais obtidos nas temperaturas de 1 a 95°C do mosto cervejeiro lupulado em um reômetro rotacional de cilindros concêntricos, sistema Searle	86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. Revisão Bibliográfica	12
2.1 Matérias-Primas	12
2.1.1 Água	12
2.1.2 Malte	13
2.1.3 Adjuntos	18
2.1.4 Lúpulo	19
2.2 Processamento	22
2.2.1 Moagem do Malte	24
2.2.2 Mosturação	25
2.2.3 Filtração, Fervura, Tratamento do Mosto e Resfriamento	29
2.3 Reologia dos Produtos Alimentícios	30
2.3.1 Influência da Temperatura e Concentração de Sólidos no Comportamento Reológico dos Fluidos	35
3. Material e Métodos	38
3.1 Material	38
3.1.1 Água	38
3.1.2 Malte de Cevada	39
3.1.3 Adjunto: grits de milho	40
3.1.4 Lúpulo	41
3.2 Processamento	42
3.2.1 Cálculo para Preparo do Mosto Cervejeiro	42
3.2.2 Mosturação, Filtração, Fervura e Resfriamento	44
3.3 Medidas Reológicas	47
3.4 Análise de Dados	47
4. Resultados e Discussão	49
4.1 Comportamento reológico do mosto de cerveja lupulado do tipo lager	49
4.2 Influência da temperatura no comportamento reológico do mosto de cerveja lupulado do tipo lager	61
4.3 Influência da concentração no comportamento reológico do mosto de cerveja lupulado do tipo lager	65
4.4 Efeito combinado da temperatura e concentração no comportamento reológico do mosto de cerveja lupulado do tipo lager	75
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS	79
APÊNDICE A – PARÂMETROS REOLÓGICOS	86

1 INTRODUÇÃO

A origem etimológica da palavra cerveja encontra-se no latim "cervesia", designação para bebida fermentada. Os Gauleses chamavam-na "cerevisia", uma língua celta, pois acreditavam que vinha de Ceres (Deusa das Colheitas). A maior parte das explicações etimológicas apontam para uma expressão "cervesiam bibere", posteriormente gerando as diversas traduções nas línguas europeias da palavra cerveja (bier, no Alemão, beer, no Inglês, bière, no Francês, e outros) (COROMINAS, 1987; FERNANDES ARAÚJO, 2013).

Cerveja é uma bebida obtida pela fermentação do mosto de cereal maltado e podendo conter cereal não maltado (adjunto cervejeiro), por ação de levedura, com adição de lúpulo. Parte da cevada pode ser substituída por outros cereais (arroz, milho, trigo, sorgo, etc) (AQUARONE, 1983). A cerveja pode receber o nome conforme o local onde é fabricada, onde de modo geral, são subdivididas em dois grandes grupos Ale (alta fermentação) e Lager (baixa fermentação) (CEREDA, 1983; DRAGONE; ALMEIDA E SILVA, 2010).

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja (2020), o Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção da bebida, fabricando em 2017 o equivalente a 14,1 bilhões de litros por ano. Este valor corresponde a 1,6% do Produto Interno Bruto do Brasil, gerando cerca de 107 bilhões de reais em faturamento anual.

O perfil sensorial da cerveja no Brasil tem sido gradualmente modificado (MEGA; NEVES; ANDRADE, 2011). American Lager é o estilo de cerveja mais consumido no mundo e, no Brasil. São cervejas menos complexas, apresentam sabor suave e aroma neutro, sua aparência é de um amarelo claro e limpo (ROSENTHAL, 2018).

Um fator importante que contribui na produção deste estilo de cerveja no Brasil é o país não ser autosuficiente na produção de cevada. Dados disponibilizados pela Embrapa (2009), confirmam que o país produz apenas 30% do malte que consome. Portanto, a utilização de adjuntos no processo produtivo ocorre para diminuir os custos na produção do extrato cervejeiro, uma vez que, é necessário importar o lúpulo e grande parte do malte de cevada.

O Decreto número 6.871, de 4 de junho de 2009, regulamenta a Lei número 8.918, de 14 de junho de 1994, que dispõe sobre o registro, padronização,

classificação, inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas. Segundo Brasil (2009, p.10), mosto pode ser definido como: “solução, em água potável, de carboidratos, proteínas, glicídios e sais minerais, resultantes da degradação enzimática dos componentes da matéria-prima que compõem o mosto”.

O processo tradicional de produção, ocorrem nas seguintes etapas essenciais: **moagem do malte, mosturação (brasagem), fervura do mosto, tratamento do mosto, filtração, resfriamento**, fermentação, maturação e clarificação (ALMEIDA E SILVA, 2010, grifo nosso).

Após a clarificação, o mosto quente deve ser resfriado à temperatura na qual é inoculado com o fermento. Tradicionalmente, isso é cerca de 6 °C a 12 °C para o mosto do tipo lager. O resfriamento deve ser realizado rapidamente e sob condições assépticas para interromper a continuação das reações químicas e minimizar as chances de crescimento de quaisquer micróbios contaminantes, além de evitar o chamado defeito de Chill Haze (sedimentação parcial das proteínas), que é um problema estético perceptível pela turbidez (cerveja ficará turva) (BRIGGS, 2004).

As propriedades físicas de maior interesse na troca térmica são a condutividade térmica, a densidade, a viscosidade e o calor específico. As referidas propriedades, influenciam diretamente no desempenho de um trocador de calor. Durante o processo de transferência de calor, a temperatura e a composição do mosto podem sofrer variações significativas, mudando as suas propriedades físico-químicas. Vale lembrar que, na maioria das vezes, é aceitável como simplificação dos cálculos, que se adotem os valores das propriedades à temperatura média entre a entrada e a saída do trocador de calor (KERN, 1973).

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em testar a aplicabilidade do modelo de Ostwald-de-Waele, no mosto de cerveja lupulado clarificado, utilizando grits de milho não-maltado como adjunto cervejeiro, em diversas temperaturas e concentrações. Além disso, propõe-se a construção de um modelo matemático para a variação da temperatura, concentração e efeito combinado na viscosidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

1) O modelo de Ostwald-de-Waelle proporcionou um bom ajuste aos dados Experimentais, ou seja, descreveu de modo satisfatório o comportamento reológico do mosto do tipo lager, nos intervalos de $1\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{Temperatura} \leq 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $1\text{ }^{\circ}\text{P} \leq \text{Concentração} \leq 27\text{ }^{\circ}\text{P}$;

2) Os índices de comportamento de fluxo determinados pelo modelo reológico de Ostwald-de-Waelle, apresentaram valores iguais a unidade. Logo, caracterizando o mosto de cerveja lupulado, como um fluido newtoniano;

3) Ocorre a redução nos valores de viscosidade absoluta do mosto, diminuindo com o aumento da temperatura e aumentando com o acréscimo da concentração, fenômeno este semelhante nos fluidos alimentícios;

4) A diminuição da viscosidade facilita o escoamento dos fluidos e a troca de calor, ou seja, quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a perda de carga durante o processo, o que resulta em um menor gasto de energia;

5) A equação de Arrhenius descreveu a dependência da viscosidade com a temperatura, com o coeficiente de determinação superior a $0,982 \pm 0,003$, para um intervalo de confiança de 99%, com a energia de ativação variando de $9,633 \pm 0,318$ a $15,349 \pm 0,273$ KJ/mol. O modelo exponencial apresentou os valores de coeficiente de determinação superiores ao modelo potencial. Deste modo, o modelo exponencial apresentou correlação positiva com a viscosidade, a um intervalo de confiança de 99%.

6) Os modelos de efeito combinado apresentaram excelentes resultados, permitindo que, uma vez conhecido o valor de concentração e temperatura, pode-se calcular a viscosidade do mosto, com um erro médio relativo inferior à $3,714 \pm 0,684\%$.

REFERÊNCIAS

- ADORNO, R. A. C. **Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba**. 1997. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos: Campinas, 1997.
- AQUARONE, E. Generalidades sobre bebidas alcoólicas. In: AQUARONE, E.; LIMA, U. A.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidas por fermentação**. São Paulo: Blücher, v. 5, 1983. p. 1-13.
- ARSLAN, E. **Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends**. 2003. 59 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Middle East Technical University, Ankara, Turquia, 2003.
- Associação brasileira das indústrias de cerveja (ABIC). Dados do Setor. 2020. Disponível em < http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/>. Acesso em: 13. fev. 2020.
- ASTOLFI-FILHO, Z.; NICOLETTI-TELIS, V. R.; OLIVEIRA, E. B. de O.; REIS-COIMBRA, J. S. dos; TELIS-ROMERO, J. Rheology and fluid dynamics properties of sugarcane juice. **Biochemical Engineering Journal**, vol. 53, p.260-265, 2011.
- BERNSTEIN, L.; WILLOX, I. C. Água. In: BRODERICK, H. M. **El cervecero en la practica: un manual para la industria cervecera**. Lima: Graficas SUR, 1977. p. cap. 2, 18-28.
- BEZERRA, M, F. **Caracterização físico-química e sensorial, reológica e sensorial de iogurte obtido pela mistura dos leites bubalino e caprino**. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport Phenomena**. 1. ed. Nova York - London: John Wiley & Sons, Inc., 1960. 780 p.
- BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 1982. 325 p.
- BRAGA, A. C. C.; RODRIGUES, A. M. da C.; SILVA, L. H. M. da; ARAÚJO, L. A. de. Avaliação da influência da temperatura e do tratamento enzimático no comportamento reológico do suco de abacaxi pérola (*ananas comosus l. merr.*). **Revista Brasileira Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 1, p. 226-237-, Março, 2013.
- BRASIL. Decreto n. 2.314, de 04 de setembro de 1997. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. **Boletim IOB**, n.38, p.11-30. 1997.
- BRIGGS, E. D. **Brewing: Science and Practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. 863 p.

CASTILHOS, M. B. M. de; BETIOL, L. F. L.; CARVALHO, G. R. de.; TELIS-ROMERO, J. Experimental study of physical and rheological properties of grape juice using different temperatures and concentrations. Part I: Cabernet Sauvignon. **Food Research International** vol. 100, jul. 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.075>

CABRAL, R. A. F. **Propriedades reológicas de fluidos alimentícios e aplicações no projeto de equipamentos de processo**. 2008. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas: São José do Rio Preto, 2008.

CEREDA, M. P. Cervejas. In: AQUARONE, E.; LIMA, U. A.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: Blucher, 1983. p. 43-78.

COROMINAS, J. **Breve diccionario etimológico de la lengua castellana**. 3. ed. Madrid: Guedos, 1987.

CURI, R. A. **Produção de cerveja utilizando cevada como adjunto de malte**. 2006. 123p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas: Botucatu, 2006.

DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 1, p. 1011-1015, 2007.

DIAS PAES, M. C. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/fisquitectolmilho_000fcb2k97i02wx5eo0bp3uwfl1aa0n7.pdf>. Acesso em: 30 junho 2019.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. D. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, v. 1, 2010. p. 15-48.

EMBRAPA. **A Cevada no Brasil**. Outubro de 2009. Disponível em <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2009/abril/2asemana/reuniao-de-cevada-avalia-safra-na-america-latina/?searchterm=cevada>>. Acesso em: 19 de jan. 2020.

EVANGELISTA, R. R.; Sanches, M. A. R.; Castilhos, M. B. M. de; Cantú-Lozano, D.; TELIS-ROMERO, J. Determination of the rheological behavior and thermophysical properties of malbec grape juice concentrates (*Vitis vinifera*). **Food Research International**, vol. 137, fev. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109431>

FARAG, M. A.; WESSJOHANN, L. A. Cytotoxic effect of commercial *Humulus lupulus* L. (hop) preparations – In comparison to its metabolomic fingerprint. **Journal of Advanced Research**, Cairo, v. 4, n. 4, p. 417–421, 2012.

FEISTLER, O. **Apostila operador cervejeiro**. Porto Alegre: AMBEV, 2014.

FERNANDES ARAÚJO, S. R. **Otimização do processo de produção de Mosto**. 2013. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biológica) - Universidade do Minho: Braga, 2013.

FLAUZINO, R. D.; GUT, J. A. W.; TADINI, C. C.; TELIS-ROMERO, J. Flow properties and tube friction factor of milk cream: influence of temperature and fat content. **J. Food. Process Eng.** Jun, 16 of 2009.

FRISO, D.; BOLCATO, F. Rheological properties of some newtonian food liquids, **Rivista di Ingegneria Agraria**, Vol. 35, No. 2, 75-80p, 2004.

GONZÁLEZ-TELLO, P.; CAMACHO, F.; GUADIX, E. M.; LUZÓN, G.; GONZÁLEZ, P. A. Density, viscosity and surface tension of whey protein concentrate solutions. **J. Food Process Eng.**, vol. 32, 235-247p. 2009.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.

GRANT, H. L. Lúpulo. In: BRODERICK, H. M. **El cervecero en la practica: un manual para la industria cervecera**. Lima: Graficas SUR, 1977. p. cap. 8, 164-88.

GREEN, D. **The Science of Step Mashing. The best of Brew**, MANCHESTER, 2015. Disponível em: <<https://byo.com/article/the-science-of-step-mashing/>>. Acesso em: 27 junho 2019.

GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; JÚNIOR, V. S. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 24(4): 652-656, out.-dez. 2004.

HOUGH, J. S. **The biotechnology of malting and brewing**. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. 159 p.

HOPTON, J. W; HALL, A. N. A study of a gram-positive coccus responsible for ropiness and viscosity in malt wort. **Journal of Applied microbiology**. vol. 1, 23-31p., 2008.

JACOBS, L. **CINÉTICA QUÍMICA**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba, 2014, 47 f. Notas de aulas.

JANNOTTI, P. **Guia definitivo sobre o Malte – Do grão até a garrafa**. A terra da Cerveja, 2018. Disponível em: <<https://aterradacerveja.com.br/guias/guia-definitivo-sobre-o-malte.html/>>. Acesso em: 25 junho 2019.

JIN, Y. L.; SPPERS, A.; PAULSON, A. T.; STEWART, R. J. Effects of -Glucans and Environmental factors on the viscosities of Wort and Beer, **J. Inst. Brew.** vol. 110, no. 2, 104-116p., 2004.

JR, P. E. **Produção de Cerveja: etapas, características e a química da cerveja**. P&Q Engenharia, 19, outubro, 2016. Disponível em: <<https://peqengenhariajr.com.br/processo-de-producao-de-cerveja/>>. Acesso em: 20 junho 2019.

KHALIL, K. E et al. Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 10, n. 3, p.231-240, 1989.

KERN, D. Q. **Processos de Transmissão de Calor**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1973, 980p.

KREISZ, S. Malting. In: EßLINGE, H. M. **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Freiberg: WILEH-VCH, 2009. p. 147-164.

KROTTENTHALER, M.; GLAS, K. Brew Water. In: EßLINGE, H. M. **Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets**. Freiberg: WILEH-VCH, 2009. p. 105-117.

LEIPER, K. A.; MIEDL, M. Brewhouse Technology. In: STEWART, G. G.; PRIEST, F. G. **Handbook of Brewing**. 2. ed. London: CRC Press, 2006. p. 385-444.

LEITE, J. P. V. (Ed.). **Fitoterapia: bases científicas e tecnológicas**. São Paulo: Atheneu, 2009. 328 p.

LEWIS, M. J.; BAMFORTH, C. W. **Essays in Brewing Science**. Davis: Springer, 2006. 3-69 p.

MACHADO, J. C. V. **Reologia e Escoamento de Fluidos - Ênfase na Indústria do Petróleo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. 258 p.

MEGA, J. F.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. de. A produção da cerveja no Brasil. **Revista CITINO**, Vol. 1, No. 1, outubro-dezembro 2011, 34-42p.

MOURA, S. C. S. R., FRANÇA, V. C. L., LEAL, A. M. C. B. **Propriedades termofísicas de modelos similares a sucos – parte I**, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.23, n.1, p. 62-68, jan-abr, 2003.

NIELSEN, J. P.; MUNCK, L. Evaluation of malting barley quality using exploratory data analysis. I. Extraction of information from micro-malting data of spring and winter barley. **Journal of Cereal Science**, Vol. 38, 173-180, 2003.

NOGUEIRA, M. **O que é lúpulo. Super Interessante**, 2016. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/saude/o-que-e-lupulo/>>. Acesso em: 21 junho 2019.

OETTERER, M.; ALCARDE, A. R. Tecnologia da Fabricação da Cerveja. In: OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 1. ed. Barueri: MANOLE, 2006. p. 51-94.

PALMER, J. J. **How to Brew: everything you need to know to brew great beer every time**. 3. ed. New York: Brewer Association, 2006. 347 p.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de. Comportamento reológico de mel da abelha uruçu (*Melipona scutellaris*, L.). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 5, no. 2, Jul/Dez 2003.

RAO, A. M. **Rheology of fluid and semisolid fluids: principles and applications**. 1. ed. Maryland: An Aspen Publication, 1999. 433 p.

REBELLO, F. D. F. P. Revisão: Produção de Cerveja. **Revista Agrogeoambiental**, Inconfidentes, p. 145-155, dezembro 2009.

REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria**. São Paulo: Aden, 1997. 214 p.

REINOLD, M. R. **Tipos de Malte**. Cerevesia, 2017. Disponível em: <<https://www.cervezia.com.br/artigos-tecnicos/tecnicos/materia-prima/malte/819-tipos-de-malte.html>>. Acesso em: 25 junho 2019.

RODRIGUES, M. Â.; MORAIS, J. S.; CASTRO, J. P. M. D. **Jornadas de lúpulo e cerveja: novas oportunidades de negócio**. Bragança Paulista: Instituto Politécnico de Bragança, 2015. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/11625/3/LivroDeActas.pdf>>. Acesso em: 21 junho 2019.

ROSENTHAL, R. **Técnicas de lupulagem: truques e dicas para diferenciar suas cervejas**. Hominilupulo, 2018. Disponível em: <<https://www.hominilupulo.com.br/universo-da-cerveja/tecnicas-de-lupulagem/>>. Acesso em: 25 junho 2019.

RUSSEL, I.; STEWART, G. G. Brewing. In: REHM, H. J., et al. **Biotechnology: a multivolume comprehensive treatise**. Weinheim: VCH, 1995. p. 419-462.

SANTOS, I. J. **Cinética de fermentações e estudo de metabólitos e enzimas intracelulares envolvidas na fermentação alcoólica cervejeira conduzidas com leveduras de alta e baixa fermentação em diferentes composições de mosto**. 2005. 139f. Tese (Doutorado em ciência e tecnologia de alimentos) - Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2005.

SANTOS, P. H. **Influência da temperatura e da concentração de sólidos solúveis no comportamento reológico de polpas de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas**. 2013. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SCHRAMM, G. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**, 2. ed. Karlsruhe: Artliber, 2006. 232 p.

SINGH, N. I.; EIPESON, W. E. Rheological behaviour of clarified mango juice concentrates. **Journal of Texture Studies**, v. 31, n. 3, p.287-295, 2000.

SILVA, F. C. da.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.

SHARPE, B. F. R.; LAWS, D. R. J. The Essential Oil of Hops a Riview. **Journal of the Institute of Brewing, Redhill**, v. 87, p. 96–107, 1981.

SEVERA, L., LOS, J., NEDOMOVÁ, Š., BUCHAR, J. 2009. On the rheological profile of malt wort during processing of substrate for lager beer. **Journal of food physics**, vol. 22, 5–16p.

SILVA, D. P. D. **Produção e Avaliação Sensorial de Cerveja Obtida a Partir de Mostos com Elevadas Concentrações de Açúcares**. 177p. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) - Faculdade de Engenharia Química de Lorena, USP: Lorena - SP, 2005. 177 p.

SLEIMAN, M. et al. Determinação do percentual de malte e adjuntos em cervejas comerciais brasileiras através de análise isotópica. **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 163-172. ISSN 1413-7054.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2. ed. USA: Freeman Press, 1996. 428 p.

STEWART, G. G. **A brewer's delight**. **Chemistry in a Industry**, London, n. 21, p. 706-709, nov. 2000.

SUTHERLAND, J. P.; VARNAM, A. H. **Bebidas: Tecnología, química y microbiología**. Espanha: Acribia, 1997. 307-375 p.

TANNER, R. I. **Engineering rheology**. New York: Oxford University, 1988. 451 p.

TELEGINSKI, F. **Moagem do malte. Engarrafador Moderno**, p. 26-34, Julho 2018. Disponível em: <https://issuu.com/engarrafador/docs/engarrafador_moderno_-_julho_18>. Acesso em: 2019 junho 26.

TELIS ROMERO, J.; DITCHFIELD, C. Reologia de produtos alimentícios. In: TADINI, C. C., et al. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2016. Cap. 3, p. 63-168.

TIKKANEN, M. W. et al. DECHLORINATION STUDIES AT TACOMA WATERS Background. In: TIKKANEN, M. W., et al. **Guidance Manual for Disposal of Chlorinated Water**. Denver, CO: American Water Works Association, 2001. p. 142-149.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TRÁVNÍČEK P.; LOS J; JUNGA P; Comparison of Rheological Properties of Hopped Wort and Malt Wort. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, vol. 63 no., 1, 131–136p. 2015.

TSCHOPE, E. C. **Microcervejarias e cervejarias: a história, a arte e a tecnologia**. São Paulo: Aden, 2001. 223 p.

VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de Cerveja**. Jaboticabal: Funep, 2000. 83 p.

VÉLEZ-RUIZ, J. F.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Effects of temperature and concentration on the rheology of concentrated milk. **Transactions of the ASAE**, v. 40, p. 1113-1118, 1997.

VIDAL, J. R. M. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 039-042, 2004.

ZORZETTO, L. F. M. **Estudo experimental do escoamento de fluidos não-newtonianos em meios porosos não consolidados**. 1991. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química: Campinas, 1991.