UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI

CAMPUS ALTO PARAOPEBA- CAP

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL UTILIZANDO TORTA RESIDUAL DE MACAÚBA (*ACROCOMIA ACULEATA*) E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE VIA LÓGICA FUZZY

Ludmila Nascimento

Orientador: Prof. Dr. Edson Romano Nucci

Co-orientadora: Profa. Dr.ª Maria Helena Caño de Andrade

Ouro Branco, MG.

2019

PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL UTILIZANDO TORTA RESIDUAL DE MACAÚBA (*ACROCOMIA ACULEATA*) E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE VIA LÓGICA FUZZY

Ludmila Nascimento

Dissertação de Mestrado apresentado em cumprimento ás exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de São João Del-Rei.

Orientador: Prof. Dr. Edson Romano Nucci

Co-orientadora: Profa. Drª. Maria Helena Caño de Andrade

.

Ouro Branco MG

2019

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N244

Nascimento, Ludmila.
Produção de cerveja artesanal utilizando torta residual de macaúba (Acrocomia Aculeata) e avaliação da qualidade via lógica fuzzy / Ludmila Nascimento ; orientador Edson Romano Nucci; coorientadora Maria Helena Caño Andrade. -- Ouro Branco, 2019.
82 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) -- Universidade Federal de São João del-Rei, 2019.

1. Cerveja Artesanal. 2. Adjunto. 3. Macaúba. 4. Lógica. 5. Apoio à decisão. I. Romano Nucci, Edson , orient. II. Caño Andrade, Maria Helena, co-orient. III. Título.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE **LUDMILA NASCIMENTO**, APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI, EM 12 DE JULHO DE 2019.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Edson Romano Nucci

PPGEQ/UFSJ

Profa. Dra. Ana Paula Fonseca Maia de Urzedo

DQBIO/UFSJ

Profa. Dra. Karina Arruda Almeida

IRN/UNIFEI

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela fé inabalável e por me dar a paz que preciso para seguir.

Aos meus pais e irmãos, pelo carinho, apoio e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edson R. Nucci, por todas suas contribuições, pela paciência e dedicação em ter me conduzido nessa trajetória;

À profa. Mse. Alessandra Costa Vilaça pela amizade e apoio.

À profa. Dra. Maria Helena Caño de Andrade pelo apoio no trabalho realizado.

Aos colegas do Mestrado, pela amizade e apoio, em especial, Karine Xavier e Sayeni.

As amigas das repúblicas Bendita e Sóbenzeno, pela amizade, convivência e bons momentos compartilhados.

Ao meu namorado, Gustavo, pelo carinho e incentivo.

Aos professores do Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos pelos ensinamentos.

E a todos os demais envolvidos com esse projeto, que contribuíram de forma direta ou indireta a efetivação dessa pesquisa, o meu sincero MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O mercado cervejeiro é um setor relevante do Brasil e exige que os produtores busquem novas alternativas, tanto na substituição de matérias-primas como no aperfeiçoamento do processo de fabricação. O propósito é buscar inovação e melhorias na qualidade da cerveja. É nesse âmbito que surge a utilização de adjuntos como substituinte parcial do malte na produção de cerveja, que, além de oferecer novas propriedades sensoriais e nutricionais, dependendo da escolha do adjunto, alguns ainda podem reduzir o custo de produção. Nesta pesquisa propõe-se utilizar a torta extraída da polpa do fruto da Macaúba (*Acrocomia aculeata)*, considerada a palmeira de maior dispersão no território brasileiro, como um adjunto para a produção de cerveja e a utilização da Lógica Fuzzy como apoio a decisão na qualidade da cerveja. Todas as partes do fruto possuem potencial para utilização industrial: a extração dos óleos da casca, polpa e amêndoa; a utilização das fibras - resíduos da extração; castanha seca. Atualmente considera-se que os componentes de maior valor econômico do fruto da macaúba, em termos de utilização industrial, são os óleos extraídos da polpa e da amêndoa. Desta extração surge um coproduto, a torta residual da extração, de apreciável valor nutricional. Destaca-se a torta obtida da polpa do fruto na extração do óleo da macaúba, que apresenta elevado teor de carboidrato, tornando-a uma matéria prima bastante adequada para a fermentação alcoólica. O presente trabalho objetivou a extração de uma torta residual com menor porcentagem de óleo e obtenção de cerveja em escala laboratorial utilizando esta torta como adjunto de malte e comparar o resultado com uma cerveja puro malte produzida com os mesmos parâmetros. No processo de obtenção da matéria-prima, conseguiu-se obter uma torta com baixo teor de lipídeos, uma porcentagem média de 4,9%, que foi utilizada na produção da cerveja. As cervejas foram analisadas quanto ao teor alcoólico, densidade, cor, amargor, pH, acidez total, cinzas, sólidos totais e análise organoléptica para caracterizar e comparar as cervejas produzidas. De acordo com os resultados, tanto a cerveja puro malte quanto a cerveja de macaúba foram classificadas no estilo *Saison*, ou seja, se enquadraram nos parâmetros propostos na produção. No entanto, a cerveja de macaúba apresentou menos alcoólica que o esperado, com teor alcoólico de 3,4 % (v/v), mais adocicada e mais encorpada comparada a cerveja puro malte. As propriedades físico-químicas das duas cervejas produzidas encontraram-se de acordo com a legislação vigente. Além disso, o sistema de apoio a decisão baseado em logica fuzzy para a qualidade das cervejas produzidas foi contributivo para automação das práticas de avaliação da qualidade cervejeira.

Palavras-chave: Cerveja artesanal; Adjunto; Macaúba; Lógica; Apoio a decisão.

ABSTRACT

The beer market is a relevant sector in Brazil and requires producers to look for new alternatives, both in substituting raw materials and improving the manufacturing process. The purposes are seeking for innovation and get improvement in the quality. From this basis comes the use of complements as partial substitute for malt in the brewing process that can offer not only new sensorial and nutritional properties, what relies on the complement used, but also reduce the production costs. This research is based on the use the Macauba's mash (*Acrocomia aculeata*), extracted from the raw fruit, as complement for brewing and the use of Fuzzy's Logic for decision making on the beer quality. Macauba is considered the most widely spread palm tree in Brazil. Every single part of the fruit can be used for industrial purposes: the oil from the peel, the pulp and the seeds; the fibers, that is extraction waste; and, finally, the dried nuts. Besides, nowadays, the most valuable component of macauba's fruit, in terms of industrial purpose, is the oil extracted from the pulp and/or the seeds. As result of this extraction comes up as co-product the residual cake, that is quite nutritional. Noteworthy is the cake obtained from the raw fruit pulp during the extraction of macauba oil, which has high concentration of carbohydrate, and it is very suitable feedstock for alcoholic fermentation. The main goal of this work was to extract Macauba's mash from the raw fruit, with low percentage of oil, and make a laboratorial craft beer using that soft pulp as a complement for barley malt and to compare the results with another traditional malted barley's beer that was made using the same parameters. During the process to obtaining the raw material, a cake with low content of lipids – about 4.9% – was extracted, and it was used to make the Macauba's beer. Analysis on the craft beer for alcohol content, density, color, bitterness, pH, acidity, ashes, total solids and organoleptic's analysis was used to characterize and compare the beers produced. According to the results, both of them pure malt beer and macauba beer can be classified as Saison style, what means they fit the proposed parameters in the production. However, macauba's beer has presented lower alcohol than expected, with an alcoholic content of 3.4% (v / v), besides it is more sweetish and viscous than pure malt barley's beer. The physic and chemical's properties of the two beers produced are according to the current legislation. In addition, the fuzzy's logic-based decision support system for the quality of brewed beers contributed to the automation of brewing quality assessment practices.

Keywords: Craft beer; Adjunct; Macauba; Logic; Support the decision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes tipos de cerveja relacionados nos dois grandes grupos de Ale. 9

Figura 2. Folhas de lúpulo. 15

Figura 3. Palmeira da macaúba, espécie *Acrocomia aculeata*.....17

Figura 4. Fruto da macaúba e suas partes. 18

Figura 5. Fluxograma do processo de produção de uma cerveja artesanal.....23

Figura 6. Funções de pertinência para variável linguistica temperatura.....37

Figura 7. Funcionamento do sistema de interferência Fuzzy. 37

Figura 8. Despolpadora mecânica.....37

Figura 9. Secagem dos frutos.....38

Figura 10. Secagem da polpa.....38

Figura 11. Prensa mecânica utilizada na extração do óleo da macaúba. 39

Figura 12. Prensa mecânica utilizada na extração do óleo da macaúba. 39

Figura 13. Etapa de Brassagem 44

Figura 14. Classificação da cerveja quanto a cor.....48

Figura 15. Torta obtida após a prensagem. 50

Figura 16. Relação BU/GU para vários estilos de cerveja.....58

Figura 17. Cerveja puro malte e cerveja de macaúba. 59

Figura 18. Funções de Pertinência para as variáveis de entrada o apoio de decisão fuzzy para qualidade da cerveja: (a) Densidade; (b) pH; (c) Cor e (d) Teor Alcólico.....69

Figura 19. Funções de Pertinência para a variável de saída Qualidade da cerveja 70

Figura 20. Densidade vs pH 73

Figura 21. Densidade vs cor 74

Figura 22. Densidade vs TA 74

Figura 23. pH vs cor 75

Figura 24. Ph vs TA 75

Figura 25. Cor vs TA 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das cervejas no Brasil.....8

Tabela 2. Composição do grão de cevada e do malte. 14

Tabela 3. Composição química aproximada da torta de macaúba comparada ao malte brasileiro.....19

Tabela 4. Enzimas que atuam na mosturação, função e condições ideais 25

Tabela 5. Responsáveis pelo ataque às paredes das células.....26

Tabela 6. Responsáveis pelo ataque às proteinas.....26

Tabela 7. Responsáveis pelo ataque ao amido. 27

Tabela 8. Temperatura de gelatinizaçãode alguns adjuntos.....28

Tabela 9. Matérias- primas utilizadas na produção das cervejas 41

Tabela 10. Classificação das cervejas quanto ao teor alcoólico.....49

Tabela 11. Massa de torta dos grupos 51

Tabela 12. Porcentagem de lipídeos nas tortas 51

Tabela 13. Densidades medidas ao longo do processo de produção da cerveja puro malte.....54

Tabela 14. Densidades medidas ao longo do processo de produção da cerveja de macaúba 54

Tabela 15. Utilização de alfa ácidos 55

Tabela 16. Utilização de alfa ácidos obtidas após interpolação dos resultados da tabela 15.....56

Tabela 17. Dados obtidos para realização do cálculo do IBU 56

Tabela 18. Resultados obtidos do exame organoléptico das cervejas.....60

Tabela 19. Relação dos resultados obtidos para análise dos sólidos totais da cerveja puro malte 62

Tabela 20. Relação dos resultados obtidos para análise dos sólidos totais da cerveja de macaúba.....62

Tabela 21. Dados dos volumes gastos na análise de acidez total na cerveja puro malte 63

Tabela 22. Dados dos volumes gastos na análise de acidez total na cerveja de macaúba 63

Tabela 23. Análise de cor de amostras, conforme a metodologia ASBC Beer 10-A da cerveja puro malte.....64

Tabela 24. Análise de cor de amostras, conforme a metodologia ASBC Beer 10-A da cerveja de macaúba 64

Tabela 25. Média aritmética das leituras de pH das amostras de cerveja puro malte 65

Tabela 26. Média aritmética das leituras de pH das amostras de cerveja de macaúba 65

Tabela 27. Dados das massas pesadas na análise de cinzas da cerveja puro malte 66

Tabela 28. Dados das massas pesadas na análise de cinzas da cerveja de macaúba.....66

Tabela 29. Parâmetros fisico-quimicos para classificar as cervejas no estilo *Saison* 67

Tabela 30. Resultados das análises fisico0 quimicas obtidas experimentalmente para cerveja puro malte e de macaúba 52

LISTA DE SÍMBOLOS

Abv	alcohol by volume
Bs	Composição em base seca
° C	graus célsius
g/ml	gramas por mililitro
IBU	international bitterness units scale (unidades de amargor)
Meq/l	miliequivalente
° P	grau plato
SG	gravidade original
SRM	standard reference method
%(v/v)	porcentagem volume por volume
%	porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 2

2. OBJETIVO 3

2.1 Objetivo Específico 3

3. REVISÃO DA LITERATURA 4

3.1 Histórico da cerveja 4

3.2 Mercado Cervejeiro Nacional 5

3.3 Estilos de cervejas 7

3.4 Cerveja e inovação 10

4. MATÉRIAS-PRIMAS DO PROCESSO CERVEJEIRO 13

4.1 Água 13

4.2 Malte 13

4.3 Lúpulo 14

4.4 Leveduras 15

5. MACAÚBA 16

6. ADJUNTOS 19

7. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA 22

7.1 Moagem do malte 23

7.2 Mosturação 24

7.2.1 Técnicas de brassagem 27

7.2.2 Teste do iodo 28

7.3 Cozedor de adjuntos 28

7.4 Filtração do mosto 30

7.5 Fervura 30

7.6 Tratamento do Mosto 30

7.7 Fermentação 31

7.8 Maturação 31

7.9 Clarificação 31

7.10 Carbonatação 32

7.11 Envase 32

8. LÓGICA FUZZY 33

9. METODOLOGIA 33

9.1 Obtenção da Matérias-prima 36

9.2 Caracterização da torta de macaúba quanto ao teor de lípideos 40

10 METODOLOGIA DA PRODUÇÃO DAS CERVEJAS 45

10.1 Matérias-primas 40

10.2 Processo de produção das cervejas 41

10.2.1 Cerveja puro malte 41

10.2.2 Cerveja especial de macaúba 43

11. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS 45

11.1 Análise Organoléptica 46

11.2 Análise de sólidos totais 46

11.3 Acidez total 47

11.4 pH 47

11.5 Densidade 47

11.6 Cor 48

11.7 Teor alcóolico 49

11.8 Cinzas 49

12. RESULTADOS E DISCUSSÃO 50

12.1 Obtenção da matéria prima 50

12.2 Caracterização da torta quanto ao teor de óleo 51

12.3 Resultados do processo de Produção da cerveja 51

12.3.1 Cerveja puro malte (Branco) 51

12.3.2 Cerveja especial de macaúba 53

12.4 Cálculo da unidade de amargor 55

12.5 Resultados das análises fisico-quimicas 59

12.5.1 Análise organoléptica 59

12.5.2 Análise de sólidos totais 61

12.5.3 Acidez total ou titulável 62

12.5.4 Cor 64

12.5.5 Densidade 64

12.5.6 pH 65

12.5.7 Cinzas 66

13. PROPOSIÇÃO DO MODELO FUZZY DE APOIO À DECISÃO SOBRE A INSPEÇÃO DE QUALIDADE DAS CERVEJAS PRODUZIDAS 67

14 CONSIDERAÇÕES FINAIS 78

15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79

1. INTRODUÇÃO

Segundo o decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a lei n° 8.918, de 14/07/1994 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a cerveja é definida como "a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro, oriundo do malte de cevada e água potável, por ação de levedura, com adição de lúpulo" cujo teor alcoólico varia de 3 a 8% (v/v) (D'AVILA *et al.*, 2012).

As cervejas podem ser classificadas em dois grandes grupos, em relação ao processo de fermentação: as de alta fermentação (*Ale*) e as de baixa fermentação (*Lager*). A fermentação da cerveja estilo *Ale* se dá a temperaturas mais altas, entre 12 a 21ºC, produzindo cervejas com sabor mais robusto, frutadas e amargas. Nas cervejas *Lager*, a fermentação se dá em temperaturas mais baixas, entre 10ºC a 12ºC (SENAI, 2014).

Além das matérias primas tradicionais utilizadas na produção da cerveja como malte, lúpulo, água e levedura, a legislação permite que parte do malte de cevada possa ser substituída por adjuntos cervejeiros, que não devem exceder 45% em relação ao extrato primitivo (D'AVILA *et al*., 2012). Qualquer planta que contenha amido, teoricamente, pode ser utilizada como adjunto. "Adjuntos" são as fontes de carboidratos utilizadas em substituição ao malte. Esses são adicionados ao malte de cevada, em diferentes proporções, como fonte secundária de carboidratos para o processo de fermentação (MATOS *et al.*, 2005).

Atualmente, a criação de cervejas utilizando adjuntos especiais representa uma tendência de destaque no Brasil, pois o emprego desses na criação de cervejas tem sido considerado uma solução para diminuição dos custos. Tal redução é ocasionada pela substituição parcial do malte e também pela adição de novas propriedades sensoriais nos produtos obtidos. Além disso, constata-se uma grande variedade de cervejas capazes de agradar o paladar e o olfato, as quais se diferenciam através de variados ingredientes e métodos de elaboração. Desta forma, observa-se cada vez mais a necessidade de produzir cervejas com novos e sofisticados aromas que alcancem a preferência de diversos grupos de pessoas (CARVALHO, 2007).

A Macaúba é uma planta pertencente à família da Palmae, gênero *Acrocomia*, que se desenvolve bem nos solos de cerrado, aparecendo em maior concentração nos Estados de Minas Gerais e Goiás. O fruto é constituído por quatro partes distintas: a pele externa, uma casca fina e rígida de proteção da polpa que possui fibras e sua cor varia entre amarelo claro e laranja- escuro. A extração de óleo da polpa gera como coproduto uma torta com alto teor de fibras e com alto teor nutritivo. Para agregar valor a essa torta, ela pode ser utilizada para fins alimentícios, como a produção de cerveja (VEREDIANO, 2012).

Os tipos de carboidratos presentes na torta ainda são desconhecidos, portanto é necessário um estudo mais aprofundado e realização de análises para caracterizá-los. Esses carboidratos irão interferir diretamente na produção da cerveja, pois é necessária a presença de carboidratos que sejam facilmente sacarificados pelas enzimas e convertidos em açucares fermentescíveis pelas leveduras.

No intuito de se agregar valor a este coproduto da extração do óleo obtido a partir da polpa macaúba, propõe-se aplicá-la para fins alimentícios, utilizando a torta para produção de cerveja. O objetivo deste trabalho é avaliar a melhor aplicabilidade da torta de macaúba como adjunto do malte de cevada, através do desenvolvimento de uma cerveja artesanal puro malte (estilo *Ale*) e uma cerveja artesanal com mesmo estilo utilizando a torta de macaúba (*Acrocomia aculeata)* obtida com menor teor de óleo para substituir 20% do malte de cevada e comparar os resultados da cerveja puro malte (branco) com a cerveja de macaúba.

Sobre a qualidade da cerveja, alguns parâmetros físico-químicos devem ser considerados para aferição e confiabilidade do produto final e estes parâmetros devem estar de acordo com a proposta inicial da produção. Nesse sentido, o presente estudo visa a oferecer uma contribuição na inspeção do produto final por meio da proposição de um modelo de apoio à decisão, baseado em logica Fuzzy, sobre a qualidade das duas cervejas produzidas considerando os parâmetros específicos da cerveja do estilo Saison, que foi o estilo proposto na elaboração das mesmas.

Espera-se que o modelo fuzzy proposto seja capaz de avaliar as cervejas tipo Saison da mesma maneira que um especialista, quando expostos a condições similares. Além disso, o estudo tem o objetivo de possibilitar, a partir do modelo fuzzy, a interpretação dos limites aceitáveis para cada parâmetro e integração dos diferentes parâmetros envolvidos na avaliação da qualidade cervejeira, gerando uma classificação final da qualidade das cervejas produzidas.

2. OBJETIVO

Promover a extração de uma torta com menor teor de óleo e avaliar a aplicabilidade desta torta de macaúba como adjunto do malte de cevada, através do desenvolvimento de uma cerveja artesanal (estilo Ale) e aplicar a Lógica Fuzzy como apoio de decisão na qualidade da cerveja.

2.1 Objetivo Específico

- Realizar o processo de obtenção da matéria-prima (torta residual) através da extração do óleo da macaúba. Realizar o processo de modo a obter tortas com diferentes teores de óleo.
- Avaliar segundo a literatura a torta de macaúba quanto ao teor de carboidratos, lipídeos, umidade, proteínas, cinzas, acidez titulável e rancidez e realizar uma comparação com as características do malte para avaliar a potencial aplicabilidade da torta de macaúba na produção de cerveja.
- Realizar a extração da torta em diferentes quantidades e caracteriza-las quanto ao teor de óleo.
- Avaliar a aplicabilidade da torta de macaúba como adjunto do malte de cevada, através do desenvolvimento de uma cerveja especial utilizando parcialmente a torta de macaúba com menor teor de óleo e comparar os resultados com a cerveja puro malte desenvolvida.
- Realizar análise organoléptica, análises físico-químicas, cálculo do IBU a fim de caracterizar se os parâmetros se enquadram na legislação vigente e avaliar a qualidade do produto.
- Desenvolver um algoritmo Fuzzy através de regras lógicas para apoio na decisão da qualidade da cerveja (Aprovado, Aprovado com alteração ou Reprovado).

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Histórico da cerveja

A produção e o consumo de bebidas alcoólicas são uma das atividades mais antigas desenvolvidas pelo homem. A produção de cerveja vem de milhares de anos, durante os quais foi aprimorada visando o aumento de sua produção e de seu consumo (VENTURINI, 1998).

Segundo historiadores a cerveja foi inventada no Antigo Egito, cerca de 6000-5000 a.C. Nos estágios iniciais de fabricação da cerveja, o processo era similar ao do pão. Naquela época, colocava-se cevada em recipientes de barro poroso, que eram enterrados no chão úmido até a germinação começar; então os grãos eram esmagados, gerando uma massa que era cozida até a formação de uma crosta externa; finalmente o bolo desidratado era ensopado em água, para facilitar a ocorrência de fermentação espontânea, o liquido resultante era filtrado e então consumido. A cerveja ácida obtida era designada por *boozah*, termo que ainda é utilizado no Reino Unido para designar genericamente as bebidas alcoólicas (LIMA & MOTA, 2003).

Os egípcios difundiram a cerveja no Oriente e foram os responsáveis pela introdução da bebida na bacia do Mediterrâneo, chegou a Europa e arrastou para o resto do mundo. Os povos de origem germânica foram os que mais se destacaram na fabricação da cerveja. Os monges do mosteiro San Gallo, na Suíça, foram os primeiros a acrescentar o lúpulo em sua produção, originando as características atuais da bebida (SINDICERV, 2000).

A lei que rege sobre a produção das cervejas artesanais, garantindo alta qualidade do produto final por meio da utilização de matéria prima especifica foi criada no século XIV em 23 de Abril de 1516, é a Lei da Pureza Alemã da Cerveja (“Reinheitsgebot”). Segundo esta lei, decretada por Duque Guilherme IV da Baviera, a cerveja deveria ser fabricada somente com os seguintes ingredientes: água, malte de cevada e lúpulo. Naquela época a levedura de cerveja não era conhecida (FERREIRA *et al.*, 2011).

O hábito de tomar cerveja no Brasil foi trazido por D. João VI, no inicio do século XIX, durante a permanência da família real portuguesa no país. A cerveja consumida era importada de países europeus. Em 1888, foi fundada no Rio de Janeiro a “Manufatura de cerveja Brahma Villigier e Cia.” E pouco tempo depois, em 1891 a “Companhia Antártica Paulista” em São Paulo (VENTURINI, 1998).

No entanto, apenas no século XIX foi possível obter a cerveja com maior vida de prateleira, maior reprodutibilidade e de maior qualidade com o uso de técnicas e conceitos científicos pelos fabricantes da época. Isto gerou o crescimento das unidades produtoras dando origem ao surgimento da indústria cervejeira (FIGUEIREDO & CARVALHO, 2014).

Nas últimas décadas surgiram-se diferentes técnicas bioquímicas, microbiológicas e genéticas na indústria de fabricação da cerveja. Ademais, atualmente a indústria cervejeira tem se

mostrado grande interesse nas inovações de produção como a utilização de variados e diferentes adjuntos, fermentação de mostos de alta densidade e a constante mudança em relação aos aromatizantes. Normalmente, outros cereais como arroz, milho e trigo são utilizados como adjunto de malte de cevada. No entanto, já existem estudos sobre o uso de novos adjuntos como a batata e a mandioca. A indústria brasileira também tem se inovado no uso de aromatizantes como aromas de limão, morango, cerveja, abacaxi, kiwi, maçã, chocolate, entre outros (CARVALHO *et al.,* 2007 apud FIGUEIREDO & CARVALHO, 2014).

3.2 Mercado Cervejeiro Nacional

As cervejas mais consumidas no Brasil são a Skol e a Brahma. São cervejas do tipo *Pilsen* e produzidas industrialmente pela gigante Ambev. Atualmente a Skol não ocupa apenas a primeira posição de mais consumida no Brasil, mas também se destaca como a quinta mais vendida no mundo, ocupando 2,2% do mercado mundial. A Brahma possui medalha de prata no ranking e apesar de ser totalmente brasileira também marca presença em diversos países, como Bélgica, Rússia, Estados Unidos, China, Holanda, Irlanda, Ucrânia, França, Inglaterra e em toda a América Latina (MAGRI, 2018).

O que distingue as cervejas artesanais das cervejas produzidas em massa é a procura pela diferenciação, mesmo sendo o processo de fabricação idêntico. As grandes cervejarias trabalham com padronização do processo com menos sabor e para atingir o maior número de pessoas. A produção da cerveja artesanal é simples, mas seu preparo é cuidadoso e exige qualidade na seleção da matéria prima (FERREIRA *et a.,l* 2011).

A diversidade de produtos tem alterado o padrão de consumo e as escolhas dos consumidores. Os brasileiros estão optando por beber menos, porém melhor. Deste modo optam pelas cervejas artesanais e *premium*, denominadas cervejas especiais, que têm melhor custo-benefício. Segundo a legislação, as cervejas artesanais e especiais são consideradas de puro malte, na qual as artesanais são produzidas com menor volume e as cervejas *premium* em grande volume (SEBRAE, 2015).

No Brasil, há uma enorme distância entre o potencial produtivo versus consumidor de cervejas industriais e artesanais. O aumento da classe média brasileira e a expansão em geral, da renda média da população, gerou a ampliação da capacidade de consumo de cervejas que possuem um valor mais elevado no país (BORGES, 2015).

De acordo com o SEBRAE Inteligência e consumo (2015), o mercado de cervejas artesanais está em crescimento e é estimulado pela tendência de valorização da sensorialidade e a procura pelo prazer no consumo. Consumidores de cervejas especiais no ato da compra levam em consideração determinados critérios como: qualidade, estilo, preço, indicação e inovação.

Os cervejeiros artesanais são apreciadores da bebida que realizam a produção como um *hobby*. Este é um mercado para os insumos da fabricação artesanal, e não da bebida em si. Apesar de ainda recente no Brasil, se comparado às experiências vistas nos EUA e na Europa, o comércio de maltes, leveduras e lúpulos especiais, em sua maioria importados, é um setor que tem apresentado ritmo significativo de crescimento no país (JÚNIOR *et al.*, 2014).

O termo "Microcervejaria" surgiu para designar empreendimentos que visam produzir cerveja com diferencial local, atendendo a argumentos de tradição e/ou qualidade diferenciada, não se preocupando com a questão da produção industrial (FERREIRA *et al.*, 2011). Estas empresas de pequeno a médio porte ofereceram aos brasileiros a opção de consumir produtos cervejeiros exclusivos e diferenciados com vários tipos, texturas, aromas e sabores. Muitas delas produzem suas cervejas seguindo a Reinheitsgebot (Lei da Pureza Alemã). No Brasil, as microcervejarias começaram a surgir na década de 90 e hoje já são mais de 80 companhias. Na Europa e EUA já são um setor consolidado. A distribuição é limitada e regionalizada atendendo desde um único bar ou restaurante até alguns estados, porém, em muitos casos é possível encontrá-las em lojas *on-line* de bebidas. Muitos bares e restaurantes vêm se tornando microcervejarias para inovar seus negócios e agregar valor aos clientes (SEBRAE, 2014).

As microcervejarias surgiram como alternativa para explorar um mercado que não interessa às grandes, que procura produtos inovadores e de alto valor agregado. O mercado de cervejas comuns, segundo a Associação de Cervejeiros artesanais de Minas Gerais (Acerva Mineira), cresce cerca de 5% ao ano, enquanto as artesanais crescem 45%. Esta tendência de aumento da demanda se deve ao aumento populacional. Segundo o IBGE a população brasileira terá uma taxa geral de crescimento demográfico de 1,5% ao ano para os próximos cinco anos. Além disso, o subconjunto dos consumidores maiores de 18 anos, correspondente a 42% da população, deverá aumentar mais de 4% ao ano nesse mesmo período. Consequentemente, mais de 2,5 milhões de potenciais consumidores devem chegar ao mercado a cada ano. Segundo a ABMIC (Associação Brasileira das Microcervejarias), a maior parcela das vendas da bebida é para consumo no balcão, com 52% de participação, seguida pela venda em supermercados (27%) e pequeno varejo (21%). Devido a isso, estabelecimentos se espalham pelo país produzindo sua própria cerveja e elaborando novas alternativas para atrair o consumidor (SEBRAE, 2014).

As nanocervejarias têm os mesmos objetivos das microcervejarias, no entanto, sua produção varia de 50 a 2000 litros por mês, não ultrapassando esse valor. Possuem produção caseira ou alguns com equipamentos profissionais, porém para pequena escala, realizando a fabricação por *hobby* e normalmente atuam com alguma ou nenhuma licença. Os *homebrewing* são produtores caseiros que fazem a sua cerveja, inicialmente pelo prazer da produção, posteriormente para troca de experiências e compartilhar conhecimento, associado à gastronomia (FERREIRA *et al.*, 2011).

No geral, o setor cervejeiro é um dos mais relevantes da economia brasileira, apenas em 2014 a indústria cervejeira faturou R$ 70 bilhões. É um dos maiores empregadores do Brasil, com mais de 2,2 milhões de pessoas empregadas ao longo da cadeia. O poder do setor reflete-se também na geração de impostos. Em 2014, o setor de cerveja gerou R$ 21 bilhões em impostos. Como possui um significativo efeito multiplicador na economia, sua atuação movimenta uma extensa cadeia produtiva, que é responsável por 1,6% do PIB e 14% da indústria de transformação nacional. De acordo com dados levantados pelo Ibope Inteligência, a cerveja é a bebida eleita a "Cara do Brasileiro", com 59% da preferência dos entrevistados. Além disso, os fabricantes investiram muito na ampliação de seus parques produtivos e em inovação, significando mais empregos e renda e um grau elevado de desenvolvimento sustentável. O setor está preparado para urgir o ritmo dessa expansão, criando um aumento de geração de impostos e de benefícios sociais (SALLES, 2015).

Apesar deste senário promissor do setor cervejeiro, as cervejarias que estão em atividade e começaram a surgir na década de 90 passaram por dificuldades devido à alta carga tributária. Fábricas pequenas em que as próprias famílias trabalhavam, possuíam uma carga tributária tão alta que inviabilizava este setor que não para de crescer no mundo todo (ZOBARAN, 2016).

No entanto, atualmente no ano de 2016, o setor cervejeiro comemora uma grande conquista. A lei que inclui microcervejarias no Simples Nacional foi aprovada em Brasília com a presença de representantes da Associação Brasileira de Cerveja Artesanal (Abracerva) com grande apoio e pressão da comunidade cervejeira nas redes sociais. A decisão amplia o limite de faturamento das microcervejarias de R$ 3,6 milhões para R$ 4,8 milhões e cria as Empresas Simples de Crédito para facilitar o acesso ao crédito para as micros e pequenas empresas. A estimativa é de que o Simples diminua cerca de 32% da carga tributária do setor de bebidas alcoólicas, especialmente as pequenas vinícolas, microcervejarias e produtores de cachaça artesanal. No Brasil, a Abracerva estima que mais de 400 microcervejarias sejam beneficiadas. A medida tende a estimular o surgimento de novas cervejarias e gerar mais empregos no setor. A medida não deve impactar o preço das cervejas para o consumidor final a curto prazo, mas oferece melhores condições para aquecer o mercado (HENRRIQUES; SENNE, 2016).

3.3 – Estilos de cervejas

O BJCP (*Beer Judge Certification Program*) foi o responsável por catalogar uma infinidade de tipos e estilos de cerveja e elaborou um guia de estilos com base nas informações das cervejas como, por exemplo, cor, amargor, cheiro e sabor. Este guia de estilos surgiu em 1985 nos Estados Unidos e atualmente existem várias cópias traduzidas em diversas línguas sendo reconhecido no mundo inteiro (BONACCORSI, 2016).

As cervejas são classificadas em cinco itens na legislação brasileira (Decreto nº 2.314, de 4 de setembro de 1997, e Lei n° 8.918, art. 66, de 14 de ju1ho de 1994) de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1. Classificação das cervejas no Brasil.

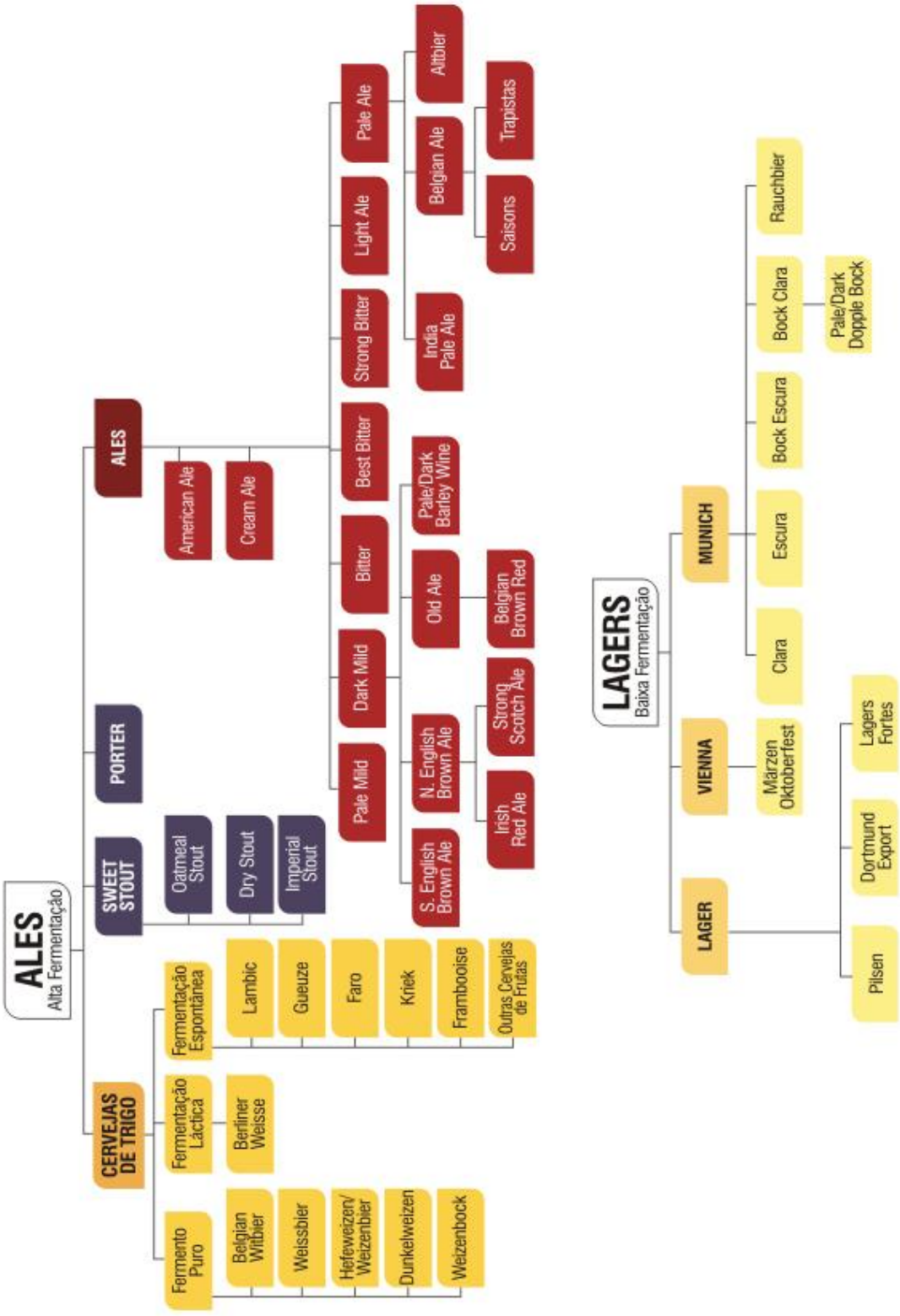
Pela fermentação **Alta fermentação (15- 25°C)** **Baixa fermentação (5- 12°C)**
Extrato primitivo **Leve → Acima de 5,0% até 10,5% em massa** **Comum→ Acima de 10,5% até 12,5% em massa** **Extra → Acima de 12,5% até 14,0% em massa** **Forte → Acima de 14,0% em massa**
Cor **Clara → menos de 20 unidade EBC** **Escura → 20 ou mais unidades EBC**
Teor alcoólico **Sem álcool → menos de 0,5% em volume de etanol** **Alcoólica → igual ou maior que 0,5% em volume de etanol**

Fonte: Jorge, (2004).

As cervejas podem ser classificadas pelo teor de álcool e extrato, pelo malte ou segundo o tipo de fermentação. Porém, a mais comum categorização de estilos de cerveja é por tipos de leveduras. Este tipo de categorização dividem as cervejas em três grandes famílias, as chamadas *Ale*, *Lager e Lambic* (BONACCORSI, 2016).

As cervejas estilo *Ale*, utiliza leveduras de alta fermentação em sua produção, na qual as leveduras irão permanecer na parte superior do mosto que está no fermentador. Ocorre em temperaturas entre 15°C a 25°C. O processo de fermentação tem duração de 2 a 5 dias e teor alcoólico de 4% a 8%. Esse tipo de fermentação produz uma cerveja com sabor pronunciado de lúpulo, suavemente acidas e cor claras. Como exemplo tem-se a *Stout, Porter* e as de trigo. As do tipo *Lagers* utilizam-se leveduras que são caracterizadas por permanecerem no fundo do fermentador após o período de fermentação (temperaturas de 5ºC a 12ºC), temperaturas mais baixas do que no estilo *Ale*. Este processo de fermentação é mais lento, durando aproximadamente cinco dias. Essa fermentação produz uma cerveja com coloração mais clara, sabor suave e teor alcoólico entre 4% a 5%. Como exemplo desse tipo de cerveja é a *Pilsen* ou *Pilsener* (SIQUEIRA *et al.*, 2008). A Figura 1 ilustra os diferentes tipos de cerveja relacionados nos dois grandes grupos de *Ale* e *Lager*.

Figura 1. Diferentes tipos de cerveja relacionados nos dois grandes grupos de *Ale* e *Lager***.**



Fonte: Blog PAPO DE BAR.

As cervejas da família *Lambic* são cervejas de fermentação espontânea, ou seja, a fermentação é feita com a microflora do ambiente. São bastante atípicas e pouco conhecidas no Brasil. Possuem um longo processo de produção e um alto custo. A *Lambic* original é produzida perto de Bruxelas. O nome vem da cidade de Lambeek. São cervejas com sabor bastante ácido. Normalmente adicionam-se frutas nessas cervejas para auxiliar no processo de fermentação espontânea, e podem ser também maturadas em barris de carvalho. Como exemplo deste tipo de cerveja encontrado no Brasil é a Kriek Boon (GREY, 2014).

3.4 Cerveja e Inovação

O Brasil é o terceiro maior produtor de cerveja do mundo e um dos grandes consumidores. São fabricados 13,8 bilhões de litros por ano, o que coloca o país no ranking global atrás apenas da China e dos Estados Unidos. Nos últimos anos, o consumo aumentou a uma taxa média de 5% ao ano, com destaque para o segmento de cervejas artesanais, que teve uma evolução anual em torno de 20%. Com um mercado tão robusto, várias iniciativas inovadoras são fomentadas nas universidades, cervejarias, institutos de pesquisa e por agricultores. Unidos em um esforço conjunto para melhorar a qualidade do produto e reduzir os custos de fabricação, eles são responsáveis por uma gama de inovações relacionadas tanto ao processo produtivo quanto ao cultivo no país dos principais ingredientes da bebida, além da água: cevada, lúpulo e levedura (VASCONCELOS, 2017).

O Brasil vive um crescente desenvolvimento de microcervejarias. Segundo a Associação Brasileira de Microcervejarias (Abracerva), já existem no país por volta de 420 estabelecimentos do gênero. Juntas, elas respondem por cerca de 1% do volume consumido no país. As microcervejarias oxigenaram o setor cervejeiro nacional. Durante anos, as grandes cervejarias fabricaram basicamente um tipo de bebida, a American Stardard Lager, uma cerveja leve, de coloração clara e fácil de beber. Nos anos 1990, iniciou um movimento de importar cervejas de outros tipos, com sabores mais acentuados, ainda de forma tímida e restrita. Com o surgimento dos pequenos produtores, o portfólio se ampliou e foi lançada uma variedade de bebidas que o brasileiro não conhecia: cervejas com diferentes teores alcoólicos, novos ingredientes, sabores e aromas variados e diversos níveis de amargor (VASCONCELOS, 2017).

Um exemplo de inovação do setor ocorre com a cevada, principal fonte de amido da bebida. Mais de 90% do grão plantado no país é fruto de pesquisa nacional. o programa de melhoramento genético, Criado há 40 anos, liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) já lançou no mercado 30 novos cultivares de cevada cervejeira adaptados às condições de clima e solo. Com os cultivares, conhecidos pela sigla BRS, a produtividade mais do que triplicou. Nos anos 1970, eram colhidos por volta de 1 tonelada de cevada por hectare e agora chegou-se a 3,5

toneladas por hectare. As novas variedades do grão que desenvolvemos ajudaram a consolidar a lavoura de cevada cervejeira. Hoje, tem-se cultivares mais produtivos, com perfil superior de resistência a doenças e de melhor qualidade industrial. Dificilmente, sementes de cevada importadas vingam no país. As variedades desenvolvidas no Brasil são muito competitivas comercialmente (VASCONCELOS, 2017).

O objetivo do programa é substituir a cevada importada usada pelas cervejarias. Esse objetivo ainda não foi atingido. A produção nacional de 300 mil toneladas por ano (t/ano) do grão, de acordo com a Embrapa, atende a 43% da necessidade da indústria brasileira para produção de malte. Para suprir a demanda dos fabricantes, o Brasil compra cerca de 400 mil t/ano de cevada de produtores argentinos, europeus, norte-americanos e canadenses (MINELLA, 1999).

A cooperação entre a Embrapa e produtores, maltarias (fábricas que transformam a cevada em malte) e fabricantes de cerveja está na base do sucesso do programa Embrapa de melhoramento da cevada. As quatro maltarias instaladas no país – duas da Ambev, no Rio Grande do Sul, uma da Cooperativa Agrária Industrial, em Guarapuava [PR], e uma da Malteria do Vale, em São Paulo – são parceiras da Embrapa. Outro fator que explica o êxito da iniciativa é a tecnologia por trás da criação dos novos cultivares. Segundo Minella, 1999, pelo método tradicional de melhoramento genético, um novo cultivar leva pelo menos seis anos para fixar suas características genéticas. Depois disso, são necessários mais quatro anos em testes de campo para avaliação de rendimento, da qualidade do grão e de resistência a doenças. Na Embrapa Trigo, os cientistas usam a técnica de haplodiploidização, com o desenvolvimento *in vitro* de plantas derivadas de gametas (células reprodutivas), portadoras da metade do genoma, que de forma espontânea ou artificial dá origem a linhagens duplo-haploides. Assim, alcançamos uma nova linhagem pura geneticamente em apenas uma geração, ao invés de seis ou mais com o processo convencional, obtendo um novo cultivar em sete anos (MINELLA, 1999).

Outro ingrediente essencial na recita da cerveja, o lúpulo (*Humulus lupulus*), também é alvo de intensa pesquisa. Responsável pelo aroma e amargor da bebida, a planta é uma trepadeira de origem europeia, muito difícil de ser cultivada no país. Apenas as flores da planta fêmea, ricas em resinas amargas e óleos essenciais, entram na composição da bebida. Por ser uma cultura típica de regiões frias, ela nunca se adaptou às condições do país. Todo o lúpulo usado pelas cervejarias nacionais é importado – em torno de 2,4 mil toneladas por ano, ao custo de cerca de US$ 35 milhões. Até poucos anos atrás, a produção nacional de lúpulo era inexistente, mas o trabalho de pesquisadores e pequenos produtores está mudando esse cenário (VASCONCELOS, 2017).

Segundo o engenheiro-agrônomo Felipe Francisco, que desde 2012 estuda o lúpulo, além de baixas temperaturas – essenciais para que a trepadeira brote –, outro desafio para o cultivo no país é o tempo de exposição diária à luz solar, já que no Brasil, o fotoperíodo, ou seja, a duração do dia,

varia pouco ao longo do ano. E isso não é bom para a planta. O pesquisador explica que, para o lúpulo produzir em quantidade e qualidade desejada, no tempo certo, é necessário haver uma variação no tempo de exposição ao sol no decorrer de seu ciclo de crescimento, de um mínimo de 9,5 horas de luz solar por dia a um máximo de 14,5 horas. Ao verificar que o período de insolação está aumentando, a planta passa a produzir um hormônio, chamado giberelina ou GA, que acelera seu crescimento. Já quando os dias começam a encurtar, no hemisfério Sul, a partir de 21 de dezembro, a produção de GA diminui e ela começa a florar. Em poucas semanas, em fevereiro ou março, é hora de colher as flores para produzir o lúpulo. A saída encontrada no Brasil foi "enganar" a planta, simulando o fotoperíodo ideal ao seu desenvolvimento. Para isso, o produtor instala refletores na lavoura e, com a luz artificial, cria dias mais longos e reduz a iluminação quando necessário (BERBERT, 2017).

O cultivo de lúpulo no Brasil pode beneficiar especialmente os pequenos fabricantes de cervejas especiais produzidas de forma artesanal. Com a produção limitada, essas microcervejarias precisam de quantidades reduzidas de lúpulo. Atualmente, elas acabam pagando mais pelo lúpulo importado, que é cotado em dólar, do que os grandes fabricantes, que compram maiores quantidades do produto (VASCONCELOS, 2017).

Na Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP) da Universidade de São Paulo, o foco das pesquisas são os chamados adjuntos cervejeiros- ingredientes usados na formulação da bebida para substituir uma proporção do malte. Essas fontes alternativas podem ser cereais não maltados (milho, arroz, trigo, sorgo, aveia e centeio) ou xaropes, melados e açúcar da cana ou beterraba. O uso de adjuntos pode reduzir o custo de produção, já que eles tendem a ser mais baratos do que o malte da cevada. O uso de adjuntos também permite a fabricação de cervejas com sabores e aromas diversos. Em Lorena, o primeiro adjunto pesquisado foi o arroz preto, um cereal rico em compostos fenólicos e com elevados teores de proteína e fibra. No processo convencional de beneficiamento desse arroz, verificou-se a quebra de até 35% dos grãos. As características aromáticas do cereal passaram para a cerveja. O estudo, feito pelo aluno de doutorado Claudio Marcelo Andrade culminando em um pedido de patente (VASCONCELOS, 2017).

Depois da experiência com o arroz preto, o grupo de Lorena testou na microcervejaria da escola outros ingredientes, entre eles banana, pinhão, quinoa e pupunha. Um trabalho recente, liderado pela aluna Raquel Aizemberg, visou à produção de dois tipos de cerveja, uma lager (clara e leve) e outra ale (escura e gosto mais forte), usando caldo concentrado de cana como adjunto. O estudo foi feito durante o doutorado de Raquel e parte das análises foram realizadas na Universidade Católica de Leuven, na Bélgica. A bebida com 25% de xarope de cana foi a que mais agradou (AIZEMBERG, 2015).

4. MATÉRIAS-PRIMAS DO PROCESSO CERVEJEIRO

Atualmente as cervejas produzidas pelo mundo utilizam como base para sua produção três ingredientes, água, malte, lúpulo. Já a levedura não é considerada uma matéria prima, mas sim um agente de transformação bioquímica dos ingredientes, através da fermentação alcoólica (AQUARONE *et al*., 2001).

4.1 Água

A cerveja tem aproximadamente em sua constituição 92 a 95% de água, tornando-a a matéria prima principal para a produção cervejeira. Com efeito, as indústrias desse ramo localizam-se em regiões onde a água apresenta uma composição uniforme e com boa qualidade. A água pode apresentar "gosto" e até mesmo odor, dependendo da quantidade de sais dissolvidos, ou de possuir matéria orgânica e compostos gasosos. Além disso, a quantidade de sais dissolvidos e de matéria orgânica, afeta diretamente os processos químicos e enzimáticos que ocorrem durante a fermentação, e também, a qualidade da cerveja produzida. As águas utilizadas para a produção cervejeira devem ter os seguintes requisitos básicos: seguir os padrões de potabilidade; apresentar alcalinidade de 50mg/L (preferencialmente inferior a 25 mg/L) e possuir concentração de cálcio ao redor de 50 mg/L. Caso a água for de baixa qualidade, ou não apresentar composição química adequada, deverá ser tratada por diferentes processos. Já a água de microcervejarias, provenientes, de rede pública ou de poços, devem ser analisadas regularmente, quanto à dureza, ao odor, sabor e turbidez e, em intervalos maiores, com analises mais completas e exames microbiológicos (VENTURINI *et al.*, 1998).

4.2 Malte

A matéria-prima resultante da germinação em condições controladas de qualquer cereal é chamada tecnicamente de malte, podendo ele ser de cevada, arroz, milho, trigo, aveia, sorgo, triticale, entre outros. O malte de cevada é o mais comum utilizados nas cervejarias.

A cevada é o cereal utilizado para a produção do malte porque possui características essenciais para produção de cerveja. O malte de cevada apresenta proteínas e amidos em proporções adequadas, sistema enzimático apropriado, cascas que fornecem um meio filtrante natural e sabor característico (SENAI, 2014).

A cevada é um cereal de cultivo muito antigo, utilizados em culturas neolíticas no Egito, gramínea pertencente ao gênero *Hordeum*. Seus grãos na espiga são alinhados em duas ou seis fileiras e envoltos por diversas camadas celulósicas, chamada palha, eliminada no beneficiamento, e

a outras camadas aderentes ao grão, denominado de casca, que são usadas na fabricação da cerveja (VENTURINI *et al.*, 1998).

Os grãos colhidos são armazenados em silos sob condições controladas de temperatura e umidade, aguardando o envio para maltaria, que é responsável pela transformação do grão de cevada em malte de cevada. O processo é simples, porém existe o controle das variáveis temperaturas, umidade e areação, favorecendo a germinação. Assim a germinação é interrompida quando o grão inicia a criação de uma nova planta, onde o amido contido nesse grão maltado tem cadeias menores, tornando menos duro e mais solúvel, possuindo enzimas no interior dos grãos fundamentais para o processo de produção de cerveja. A Tabela 2 mostra a diferenças nas composições do grão de cevada e de malte (VENTURINI *et al.*, 1998).

Tabela 2. Composição do grão de cevada e do malte.

Características	Cevada	Malte
Massa do grão (mg)	32-36	29-33
Umidade (%)	10-14	4-6
Amido (%)	55-60	50-55
Açucares (%)	0,5-1,0	8-10
Nitrogênio Total (%)	1,8-2,3	1,8-2,3
Nitrogênio Solúvel (% de N total)	10-12	35-50
Poder diastásico, ºLintner	50-60	100-250
alfa-amilase, unidades de dextrina.	Traços	30-60
Atividade proteolítica	Traços	15-30

Fonte: VENTURINI, (1998).

4.3 Lúpulo

O lúpulo, classificada como *Humulus Lupulus*, é uma planta de difícil cultivo e típica de regiões frias, possui flores masculinas e femininas em plantas diferentes. O lúpulo pode ser comercializado na forma de flores secas (*in natura*), pellets ou em extratos. É uma matéria prima que confere parte do aroma da cerveja e amargor. O interesse industrial é maior sobre a planta feminina, principalmente sobre as flores (AQUARONE *et al.*, 2001). As flores fêmeas são agrupadas em cachos ou umbelas, que possuem uma vértebra, que apresenta várias dobras sobre as quais se fixam os pares de brácteas e bractéolas, que formam glândulas, onde são produzidos os grânulos de lupalina, onde se encontra as substâncias de interesse cervejeiro, responsáveis pelo aroma e amargor, que caracteriza cada tipo de lúpulo (VENTURINI *et al.*, 1998).

Além de aroma e amargor, o lúpulo apresenta ação antisséptica, pois os ácidos *isoalfas* são bacteriostáticos, e ainda contribui para a estabilidade do sabor e da espuma da cerveja (AQUARONE *et al.*, 2001). O lúpulo em flor pode ser verificado na Figura 2.

Figura 2. Folhas de lúpulo.

Fonte: CARDOSO (2016).

4.4 Leveduras

As leveduras são micro-organismos pertencentes ao Reino *Fungi* e se apresentam principalmente sob forma unicelular. O desempenho das leveduras durante o processo de produção da cerveja é na fermentação. As leveduras, durante o processo de fermentação, metabolizam os açucares presentes no mosto cervejeiro produzindo álcool e gás carbônico a fim de produzir uma cerveja com qualidade e estabilidade sensorial satisfatória. As duas espécies de leveduras mais utilizadas na produção da cerveja são *Saccharomyces cerevisiae* (alta fermentação) e *Saccharomyces uvarum* (baixa fermentação). A utilização dessas leveduras determina se a cerveja é do estilo *Ale* ou do tipo *Lager*, respectivamente (FIGUEIREDO & CARVALHO, 2014).

Há muitos anos as leveduras vêm sendo utilizadas para a produção de pão, cerveja, vinho, outros alimentos e bebidas obtidas por fermentação, que é o caso da cerveja. Atualmente usa-se levedura em diferentes processos fermentativos, com a produção de variados tipos de produtos. Analisando sua atividade metabólica, pode se obter enzimas, vitaminas, proteínas, gorduras e etc (AQUARONE *et al.*, 2005).

As características de sabor e aroma presentes na cerveja são determinadas predominantes pelo tipo de levedura utilizada. O etanol, álcool primário, produzido pela levedura durante a fermentação do mosto, tem pequeno impacto no sabor da cerveja, o que vai realmente determinar o sabor da cerveja são o tipo e a concentração de vários outros produtos de excreção formados durante a fermentação, que depende do balanço metabólico global do cultivo da levedura. Esse balanço é dependente da cepa de levedura, da temperatura e do pH de fermentação, do tipo e da

proporção de adjunto, do modelo de fermentador e da concentração do mosto (VENTURINI *et al.*, 1998).

5. MACAÚBA

No Brasil, o Cerrado possui bioma com inúmeras espécies nativas com alto potencial para exploração econômica nos setores alimentício, farmacêutico e oleoquímico. A Macaúba, palmeira de ampla distribuição neste bioma, possui elevada produtividade de óleos e aproveitamento total dos co-produtos e por isso é vista como uma das espécies com maior potencial de exploração econômica imediata. Além disso, apresenta um sistema de cultivo considerado sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômico (CICONINI, 2012).

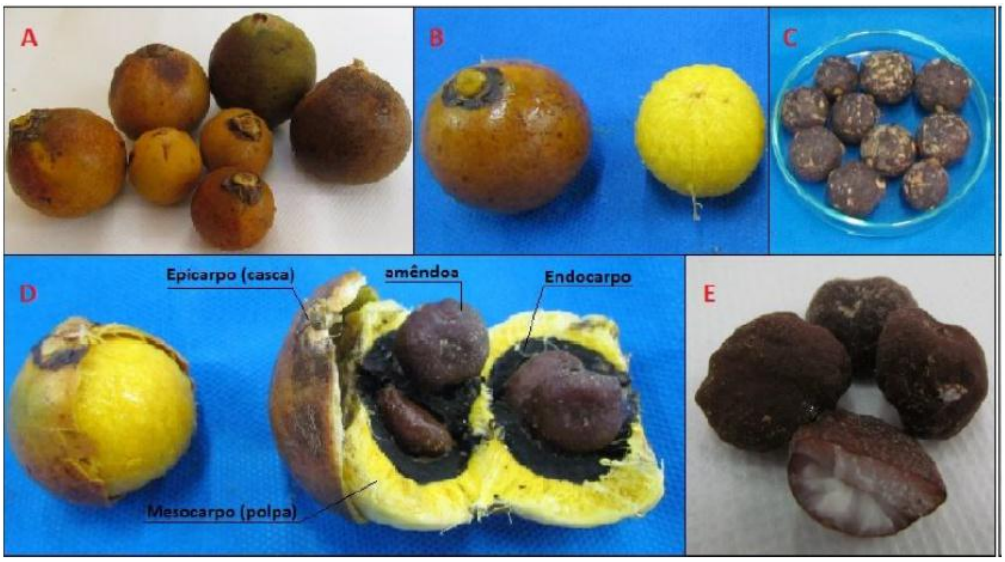
A Macaúba é uma planta que se desenvolve bem nos solos de cerrado, principalmente nos Estados de Minas Gerais e Goiás, esta pertence à família da *Palmae*, gênero *Acrocomia*. No Estado de Minas Gerais é encontrada no Alto do Paranaíba; na região de Montes Claros, no norte de Minas; e na Zona Metalúrgica, próximo a Belo Horizonte (VEREDIANO, 2012). Essa espécie apresenta alta produtividade, na qual é consagrada em 500 a 5000 kg de óleo /ha, pois em um hectare (há) é possível plantar aproximadamente 200 palmeiras, produzindo 30 toneladas de cocos por hectares em um ano (MOTTA *et al.*, 2003). A árvore da macaúba é resistência a queimadas, variações climáticas e existem poucos registros de ataques de pragas ou doenças, apesar de se desenvolverem bem em solos férteis (ANDRADE *et al.*, 2006). Seu tamanho pode atingir de 10 a 15 metros de altura e de 20 a 30 cm de diâmetro (LORENZI, SOUZA & MEDEIROS, 1996). A espécie *Acrocomia aculeata* está representada na Figura 3 e é popularmente conhecida como Macaúba.

Figura 3. Palmeira da macaúba, espécie *Acrocomia aculeata*.

Fonte: Acervo pessoal, (2018).

A Figura 4 ilustra o fruto, na qual é constituído de quatro partes distintas: a pele externa, uma casca fina e rígida de proteção da polpa que serve de ração para animais, a polpa que possui fibras e apresenta cor amarelo-alaranjada. A casca interna (tegumento) pode ser utilizada para fazer carvão. No interior da casca, mais dura, há uma ou duas amêndoas. O conjunto tegumento mais amêndoa compõe a semente da macaúba. Os frutos da macaúba só surgem quando a palmeira possui entre 4 e 5 anos de idade. O fruto da macaúba permite extrair o óleo tanto da amêndoa, como da polpa (VEREDIANO, 2012).

Figura 4. Frutos de macaúba e suas partes (A); fruto com e sem epicarpo (B); coquinho (endocarpo + amêndoa) (C); fruto de macaúba cortado ao meio evidenciando todas as partes do fruto (D); amêndoas (E).



Fonte: CICONINI, (2012).

A palmeira de macaúba possui um enorme potencial para a produção de óleo que pode ser aplicado nos setores industriais e energéticos, com vantagens sobre outras oleaginosas (MOTTA *et al.*, 2003). Na extração do óleo da polpa, ocorre a geração de uma torta de alto valor nutricional e em sua composição encontram-se proteína, fibra, ferro, cálcio, várias vitaminas essenciais entre outros nutrientes (VEREDIANO, 2012).

Na torta residual encontra-se uma grande quantidade de fibras, que constitui o resíduo orgânico obtido em certas formas de extração. A fibra é vista como um alimento funcional, pelo fato de gerar vários benefícios à saúde, pois fornece efeitos metabólicos e/ou fisiológicos além do valor nutritivo especifico à sua composição química, podendo fornecer benefícios como a redução do risco de doenças crônicas degenerativas (VEREDIANO, 2012).

Com objetivo de avaliar a potencial aplicabilidade da torta de macaúba na produção de cerveja, utilizando esta como adjunto de malte, realizou-se uma comparação entre suas respectivas características que estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química aproximada da torta de macaúba comparada ao malte brasileiro.

COMPONENTE	TORTA DE MACAÚBA bs(%)	MALTE BRASILEIRO bs(%)
Umidade	8,44	5,52
Proteínas	8,0	10,22
Gorduras	25,8	1,65
Carboidratos	53,36	50-55
Cinzas	4,4	1.97

Fonte: Adaptada de VEREDIANO (2012) e AQUARONE (2001).

Segundo a caracterização da torta residual de macaúba, realizada por Verediano (2012), apresentada na Tabela 3, observa-se que esta apresenta potencial como complemento devido a seu baixo teor de proteína e elevado teor de carboidrato. No entanto, um dos problemas envolvendo os complementos do malte envolve seu teor de gordura. A gordura e outros lipídios interferem na estabilidade da espuma da cerveja, portanto quanto menor o teor dessas substâncias nas matérias-primas melhor será a estabilidade da espuma e menor a necessidade do uso de estabilizantes (MATOS *et al.*, 2005).

6. ADJUNTOS

Os adjuntos são considerados carboidratos não maltados, mas que contém açucares fermentáveis, com composição e propriedades adequadas, completando ou suplementando o malte de cevada (VENTURINI *et al.*, 1998).

Segundo o decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a lei n° 8.918, de 14/07/1994 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, parte do malte de cevada pode ser substituída por adjuntos cervejeiros, que não devem exceder 45% em relação ao extrato primitivo (D'ÁVILA *et al.*, 2012).

O adjunto precisa gerar açúcares fermentescíveis e dextrinas não fermentáveis, em proporções equivalentes às que se obtém em um mosto feito especificamente com o malte e com baixo teor de proteínas solúveis. A quantidade máxima de adjunto utilizada na formulação da cerveja é determinada pela capacidade de as enzimas do malte hidrolisarem todo o amido contido nas matérias primas e, pela capacidade de o malte prover nutrientes à levedura como o nitrogênio, respeitando os limites impostos pela legislação de cada país produtor (AQUARONE *et al.*, 2001).

Atualmente, a maioria das cervejas comerciais utiliza adjuntos, exceto as que seguem a lei da pureza Alemã e alguns produtos *Premium* elaborados com 100% malte. Historicamente seu uso

é tão antigo quanto à fabricação de cerveja. No entanto, sua má utilização foi um dos motivos da criação da lei da pureza Alemã. Os cervejeiros belgas e ingleses possuem uma larga tradição no uso de açúcar de cana, frutas, entre outros (SENAI, 2014).

O país produz apenas 30% do malte que consome, portanto, o emprego de matérias-primas nacionais diminui os custos na produção do extrato cervejeiro; porém, tal prática não deve interferir na qualidade da cerveja. O malte de cevada devido ao seu potencial diastático, permite a utilização de outras matérias-primas amiláceas não malteadas, pois as enzimas do malte de cevada serão as responsáveis pela hidrólise do amido dos adjuntos. Os adjuntos sob a forma de xaropes e açúcares não necessitam sofrer processos de sacarificação, dispensado essa etapa de atuação enzimática (D'ÁVILA *et al.*, 2012).

As enzimas do malte de cevada são capazes de fermentar até 50% de adjunto amiláceo adicionado, além do amido presente no próprio grão de malte (VENTURINI *et al.*, 1998). Porém, pode ser necessária a suplementação com enzimas comerciais quando o percentual de adjuntos ultrapassarem 25%.

As matérias-primas açucaradas podem ser utilizadas para ajustar e desenvolver características das cervejas com pequenos custos à cervejaria. Açúcares de cana são menos utilizados do que xaropes obtidos de amido de milho por hidrólise enzimática. Também se empregam xaropes de malte e xarope caramelizado, que proporcionam cor, aroma e sabor às cervejas escuras. Já os adjuntos amiláceos normalmente não são malteados, e a obtenção dos carboidratos se dá através de gelatinização, solubilização e hidrólise do amido. Os açúcares do mosto, naturalmente presentes ou obtidos após sacarificação, são utilizados pelas leveduras na seguinte ordem: sacarose, glicose, frutose, maltose e maltotriose, sendo que altos níveis dos três primeiros podem acarretar a repressão do metabolismo da maltose (D'ÁVILA *et al.*, 2012).

Os adjuntos interferem no sabor da cerveja. A utilização de mais de 20% de adjunto dá a cerveja um caráter diferente daquela produzida exclusivamente por malte. Em alguns casos, seu uso é requerido por certos estilos de cerveja (por exemplo, cervejas de trigo). Uso de altas proporções de adjuntos pode afetar a nutrição da levedura e o desempenho da fermentação. A alta concentração de açucares simples (como a sucralose) pode fazer com que a levedura deixe de absorver outros açucares, causando a finalização antecipada da fermentação (inibição de catabólitos). O uso de mais de 40% de adjuntos requer a utilização de suplementos naturais para a levedura, já que a levedura terá problemas de crescimento por não possuir suficiente FAN (SENAI, 2014).

A utilização de altas concentrações de adjuntos proporciona altos níveis de diacetil e outros componentes obtidos ao final da fermentação. Porém, esses níveis retornam ao normal após a maturação, ocorrendo a redução de diacetil, assim como a formação de ésteres, predominantemente acetato de etila e acetato de amila. Cervejas que possuem mais adjuntos podem apresentar, ainda,

maior teor de alcoóis superiores. Durante o processo de maturação do sabor, os álcoois superiores não se modificam de forma significativa (CARVALHO, 2007).

Os adjuntos podem ser classificados segundo sua composição química, em amiláceos e açucarados. Dentre os adjuntos amiláceos, o milho na forma de "grits" (farinha grossa) e arroz como quirera tem sido os mais usados pelas cervejarias em nível mundial, incluindo as do Brasil. Flocos de cereais, cereais torrados e grão "micronizados", todos contendo amido já na forma gomificada, são utilizados apenas pelas cervejarias estrangeiras. Dentre os adjuntos açucarados destacam-se os xaropes de cerais, sendo o de milho o principal deles. O açúcar comum (sacarose) e o invertido (xarope de glicose e frutose), provenientes da cana de açúcar ou beterraba sacarina, são usados eventualmente para corrigir o teor de extrato final do mosto (AQUARONE *et al.*, 2001).

Qualquer fonte de amido pode ser usada como adjunto amiláceo, desde que verificada a disponibilidade, o valor econômico e o teor de amido. Para que ocorra a hidrólise do amido e dos componentes adicionados adequadamente, é necessário uma gelatinização, visando a expô-lo às enzimas presentes no malte. O adjunto amiláceo só pode ser diretamente adicionado ao malte quando sua temperatura de gelatinização for inferior àquelas utilizadas durante a mosturação da cerveja, etapa onde o amido sofre hidrólise pela ação enzimática, degradando-se em uma mistura de moléculas de poliglucose, menos complexas. Essas enzimas são desenvolvidas nos grãos de cevada e outros cereais durante a malteação, etapa anterior ao processamento da cerveja. Quando são usados cereais que apresentam temperaturas de gelatinização do amido maiores do que as utilizadas durante a mosturação, é necessário cozinhar o adjunto antes de sua adição ao processo, que ocorre durante a maceração. Pela ação das enzimas do malte ocorre a liquefação, que é adicionado em parte ao tanque de cozimento do adjunto**,** uma vez que a α-amilase é termoestável à temperatura utilizada. Durante a liquefação, é comum empregar 10% de malte para diminuir a viscosidade do material que será adicionado ao mosto, extraindo-se 80 a 90% dos sólidos totais do adjunto (D'ÁVILA *et al.*, 2012).

Os tipos mais comuns de adjuntos são cereais em grãos, flames e xaropes. Cereais em grãos são adjuntos que se apresentam inteiros, moídos, ou em sêmola. Requerem o uso de cozedor, São cereais (sêmolas de milho, arroz, sorgo, etc) fáceis de serem obtidos. Em geral, os adjuntos que são necessários de cozimento são os mais econômicos, muitas vezes utilizados para reduzir custos. Estes cereais requerem um local especifico para serem cozidos, pois sua temperatura de gelatinização é mais alta do que a dos amidos de cevada (SENAI, 2014).

Os flakes são folhas de cereais que sofrem um processo de elaboração industrial de gelatinização do amido, o que é útil para o cervejeiro. Cereais em flakes são adjuntos que já foram previamente gelatinizados e por isso podem ser macerados juntamente com o malte na mosturação. Com isso, as enzimas do malte completarão sua conversão em açucares (SENAI, 2014).

Os cereais em xarope são adjuntos que podem ser adicionados diretamente na fervura. Os xaropes mais comuns são feitos a base de milho, mas também podem ser feitos de outros cereais como, cevada, trigo, arroz e também a partir de outras fontes de açúcar como a cana de açúcar. Atualmente, os xaropes são feitos mediante liquefação e hidrólise enzimática, o que significa que se pode elabora-los com alto conteúdo de maltose com um perfil de açúcar similar ao do mosto, o que os tornam ideais para serem agregados na etapa de fervura (SAENAI, 2014).

O cervejeiro é responsável pela definição da quantidade de cada componente na proporção malte/adjunto, porém, abusos de adjuntos podem resultar em mostos nutricional mente pobres para a fermentação, relacionados à falta de nitrogênio no meio, como também de elevada viscosidade. As maiores vantagens desse processo constituem-se na qualidade e na produtividade da bebida elaborada, uma vez que são elaboradas com mostos de concentrações de açúcares maiores que sofrem posterior diluição (VENTURINI, 1998).

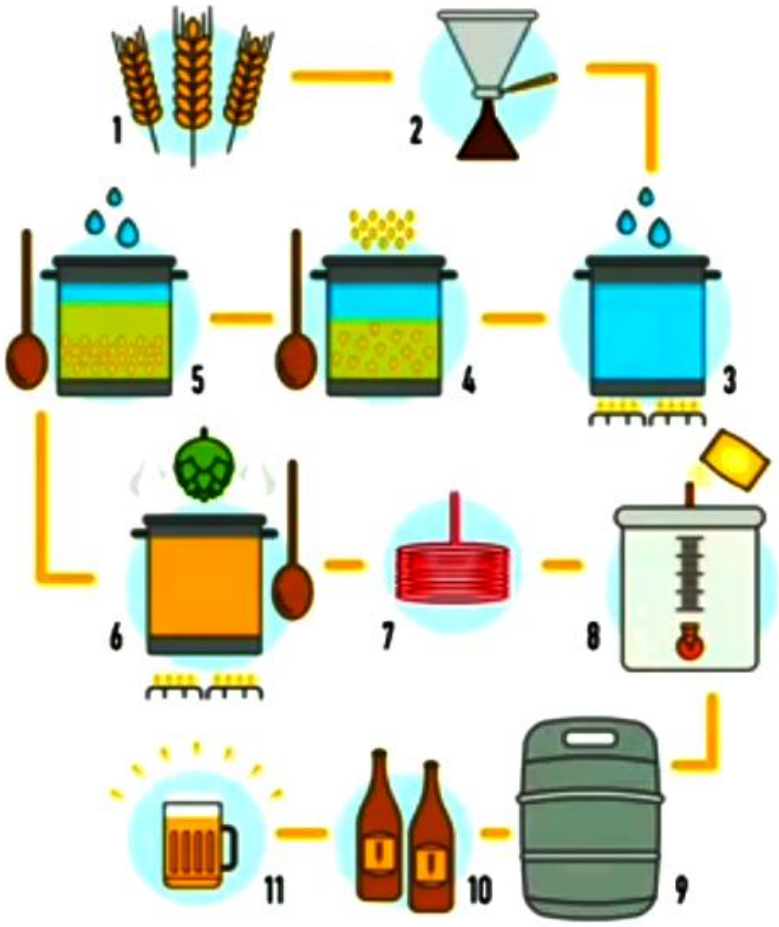
Dentre as vantagens do uso de adjuntos estão: sua capacidade de cozimento poder ser incrementada sem investimento adicional em equipamentos; a maioria dos estilos de cerveja fica mais suave e com menos corpo; as cervejas ficam mais estáveis com tempo (turbidez). Já as desvantagens se dão devido a diferentes tipos de adjuntos requerem diferentes equipamentos; custo alto, se comparado a pequenas quantidades, dependendo do percentual na cerveja são necessários suplementos nutricionais e adição de enzimas (SENAI, 2014).

7. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA

Para a produção da cerveja, a cevada maltada é moída e colocada em infusão; posteriormente é coada, fervida com lúpulo e novamente coada. Adiciona-se levedura para fermentar. O mosto é deixado em repouso para maturação. Após alguns dias de ”descanso”, a levedura é separada do mosto e a cerveja estará pronta para ser consumida. Esse processo demanda muito conhecimento e prática, pois abrange várias e complexas reações químicas e bioquímicas que devem processar sob rigoroso controle (FERREIRA *et al.*, 2011, apud MORADO, 2009).

Na Figura 5 é apresentado o fluxograma geral de um processo de fabricação de uma cerveja artesanal. Nos tópicos posteriores estão descritas detalhadamente as etapas do processo.

Figura 5. Fluxograma do processo de produção de uma cerveja artesanal.



Legenda: 1) Malte/ 2) Moagem/ (3, 4 e 5) Mosturação (Brassagem) / 6) Fervura/ 7) Resfriamento/ 8) Fermentação/ 9 e 10) Envase e carbonatação/ 11) Consumo.

Fonte: DINSLAKEN, (2016).

7.1 Moagem do malte

A fase da moagem é um processo no qual é iniciada a transformação do malte para ser convertido em cerveja. Neste processo, o tamanho das partículas é reduzido. A moagem tem como objetivo a redução do grão de malte de modo uniforme, que vai ter influência sobre a rapidez das transformações físico-químicas, rendimento, a clarificação e a qualidade do produto final. O objetivo é obter o rompimento da casca no sentido longitudinal, para expor a parte interna do grão, o endosperma; a desintegração total do endosperma, que promoverá melhor atuação enzimática e evitar grãos menores tipo farinha, a fim de evitar a formação de pasta dentro da solução (VENTURINI 2012).

A moagem é uma situação de compromisso entre agentes antagônicos, já que a casca e o endosperma requerem objetivos de moagem distintos. Por um lado, a casca deve permanecer intacta, de forma a servir como um meio de filtração e evitar a extração de polifenóis que deixam sabores desagradáveis na cerveja e, por outro lado, o endosperma deve ser finalmente moído para facilitar a hidrolise e melhorar o rendimento. As cascas do malte devem ser moídas o menos

possível. Elas são compostas basicamente de celulose, portanto não são solúveis em agua, e são minimamente afetadas pelas enzimas. São elásticas, difíceis de serem moídas e pulverizadas. Durante a filtração do mosto, fornecem um meio filtrante natural. Além disso, a moagem muito fina produz um leito filtrante mais compacto, ou seja, com menos porosidade, o que amplia o tempo de filtração (SENAI, 2014).

7.2 Mosturação

Também conhecida como tratamento enzimático do mosto a mosturação se dá com a mistura do malte moído, com a água em temperatura e tempo controlados, dependendo do tipo de cerveja a ser produzido. Essa etapa irá solubilizar as substancias do malte que são solúveis e água, e com a ajuda das enzimas solubilizar as substâncias insolúveis, propiciando a gelatinização e posterior hidrólise do amido e açucares (VENTURINI, 2012).

O extrato ou mosto obtido contém tanto os nutrientes para a levedura (açucares fermentescíveis, alfa- amino-nitrogênio e minerais) como componentes da cerveja (açucares não fermentáveis ou dextrinas), as proteínas solúveis (que contribuem para a espuma e turbidez) e os compostos que trazem sabor e aroma (SENAI, 2014).

Cada enzima presente no malte possui uma faixa ideal de pH e temperatura para promover uma melhor degradação do material amiláceo. O objetivo é recuperar a maior quantidade possível de extrato a partir do malte ou da mistura de malte e adjuntos (CRUZ *et al.*, 2008). As enzimas presentes no malte irão trabalhar segundo diferentes faixas de temperatura, na qual agirão em diferentes partes das moléculas de amido, de maneiras diferentes, quebrando-as em diferentes tamanhos, gerando açucares diferentes (PALMER, 1999).

Normalmente, o mosto estando em altas temperaturas (67 a 72°C) produzem açúcares mais complexos, chamados "dextrinas", que não são fermentados pelas leveduras, resultando em cervejas mais doces e encorpadas. Temperaturas mais baixas na mistura (62 a 66°C) produzem açucares básicos, como a maltose, que é fermentada completamente pelas leveduras, o resultado são cervejas "secas" (sem doçura) (MATOS, 2005).

As enzimas presentes no malte que promovem a sacarificação são as amilases (α e β), glucanases, enzimas de desramificação, e proteases. Cada uma tem umas funções descritas na tabela 5, abaixo. Em conjunto, as enzimas fazem um trabalho complexo, e que a faixa de pH ideal do mosto se dá entre 5,0 e 5,5.

Tabela 4. Enzimas que atuam na mosturação, função e condições ideais.

Enzima	Temperatura de atividade (°C)	pH de atividade	Função
Glucanases	35 a 45	4,5 a 5,5	Quebram as moléculas que conferem a rigidez do amido.
Enzimas de desramificação	35 a 45	5 a 5,5	Hidrolisam ligações glicosídicas α-(1,6) na amilopectina (amido ramificado insolúvel) em amiloses.
Proteases	45 a 55	3,7 a 5,3	Degradam as proteínas formando complexos de menor peso molecular, mais solúveis, e que são importantes nutrientes no processo de fermentação. Os polipeptideos de alto peso molecular residuais, formados durante a maltação, serão importantes para a estabilidade da espuma.
β- amilases ou α – amilase	55 a 65	5 a 5,5	Decompõe a amilose e a amilopectina de fora pra dentro, de duas em duas unidades de glicose.
dextrinases limite	65 a 75	5,3 a 5,7	Atuam desordenamente sobre ligações internas α-(1-4).

Fonte: PALMER, (1999).

Em geral, no processo de fabricação, utilizam-se três medições do extrato, que são: original, real ou aparente. O extrato original está relacionado a concentração de extrato antes do início da fermentação. O extrato real é a concentração do material que permanece quando todo líquido for evaporado do mosto ou da cerveja, ou seja, após a fervura. O extrato aparente refere-se à concentração do extrato medida no início da fermentação (SENAI, 2014).

Segundo SENAI, 2014, os principais fatores que afetam as enzimas da brasagem são:

- Modificação do malte (processo de maltagem);
- Tamanho da partícula do endosperma (processo de maltagem e moagem);
- Mistura homogênea: pré-macerador e agitador, hidrólise das moléculas de amido, dispersão e difusão das enzimas (homogeneidade);
- Atividade enzimática (cinética proporcional à concentração);
- pH;

- Temperatura
- Tempo

As tabelas 5 a 7 mostram os grupos de enzimas presentes e ativas na brasagem.

Tabela 5. Responsáveis pelo ataque às paredes das células.

Enzima	pH ótimo	Temperatura ótima	Temperatura de inativação	Uniões açucaradas	Produtos
Endo-β-1,4-glucanase	4,5-4,8	40-45	55	B-1.4	B-glucanos com baixo PM
Endo- β-1,3-glucanase	4,6-5,5	60	70	B-1,3	B-glucanos com baixo PM
B-glucano-solubilase	6,6-7,0	62	73	Entre proteínas e β- glucanos	B-glucanos com alto PM
Fosfatase	5,0	50-53	60	Fosfatos orgânicos	Ácidos fosfóricos minerais

Fonte: SENAI (2014).

Tabela 6. Responsáveis pelo ataque às proteínas.

Enzima	pH ótimo	Temperatura ótima	Temperatura de inativação	Uniões açucaradas	Produtos
Endopeptidase	3,9-5,5	45-50	60	União peptídica (interna)	Peptídeos mais curtos
carboxipeptidase	4,8-5,6	50	70	União peptídica (ext. carboxílico)	Aminoácidos
aminopeptidase	7,0-7,2	45	55	União peptídica (ext.amino)	Aminoácidos
Dipeptidase	8,2-8,8	45	50	dipeptídica	Aminoácidos

Fonte: SENAI (2014).

Tabela 7. Responsáveis pelo ataque ao amido.

Enzima	pH ótimo	Temperatura ótima	Temperatura de inativação	Uniões açucaradas	Produtos
β-amilase	5,4-5,6	60-65	70	α-1,4 (extremos)	Maltose
A-amilase	5,6-5,8	70-75	80	A-1,4 (interior)	Dextrinas
Limite dextrinase (baixa atividade)	5,1	55-60	65	A-1,6 (ramificações)	Dextrinas
Maltase (baixa atividade)	6,0	35-40	40	maltose	Glucose
Sacarase	5,5	50	55	Sacarose	Glucose e frutose

Fonte: SENAI (2014).

7.2.1 Técnicas de Brassagem

As técnicas de brasagem mais conhecidas são a infusão e decocção. A técnica de infusão consiste em operar com todo o grão e a água em uma única mistura e realizar as variações de tempo e temperatura em forma conjunta, com toda a massa. Nesta técnica são usados parâmetros como temperaturas, durações das pausas, temperaturas baixas no início. Além disso, a degradação das partículas se produz por ação enzimática e possui menor custo de energia e obtém-se cores de produto mais baixas. A técnica de decocção consiste em separar uma porção do cozimento (a mais espessa), fervê-la e logo voltar a unir com o restante para modificar a temperatura. Os parâmetros usados são: temperaturas, duração das pausas, temperaturas baixas, numero de decocções, tempo de decocção. A degradação das partículas se produz por ação enzimática. Possui maior custo energético e gera cores mais elevadas na cerveja. A técnica de decocção possui como vantagem o fato de conseguir a modificação de maior quantidade de componentes insolúveis, já que estes explodem ao serem fervidos (SENAI, 2014).

7.2.2 Teste do iodo

Depois do controle de temperatura/tempo, ao final da mosturação é realizado um teste com solução de iodo 0,2 N, necessário para verificar a sacarificação do malte, que será confirmada pela hidrolise completa do amido e ausência da coloração roxo-azulada (VENTURINI *et al.,* 2010).

O teste do iodo é usado para testar a degradação do amido (sacarificação). O teste é realizado agregando-se gotas de iodo a outras de mosto e observando a cor desenvolvida. Se não se alcançar a sacarificação (conversão completa do amido) ocorrerão alguns problemas, como: menor extrato, menor atenuação, baixo rendimento, sabor indesejável na cerveja, pior turbidez da cerveja devido ao amido presente (SENAI, 2014).

7.3 Cozedor de adjuntos

O cozedor de adjuntos é utilizado quando se usa na planta um cereal sem processamento de gelatinização externa ou só com moagem mecânica (isto corresponde a mais de 75% dos casos em que são utilizados adjuntos). Não é necessário utilizá-lo quando o adjunto já vem pré-gelatinizado (flakes) ou convertido (xaropes) (SENAI, 2014).

Para poder utilizar o amido que contém o adjunto, este deve passar pelo processo de gelatinização e liquefação pelos quais passa o amido do malte. Esses dois processos ocorrem simultaneamente no cozedor de adjuntos e, conforme o grão utilizado, a temperatura de gelatinização varia. Na gelatinização, as células de amido são separadas à medida que absorve água quente. Ocorre a ruptura da estrutura cristalina do amido e tomada de uma estrutura mais desordenada à medida que a temperatura e a água fazem com que os lugares disponíveis absorvam maior quantidade de água. A água absorvida faz com que o amido seja mais viscoso. Na liquefação, o amido é atacado com enzimas, principalmente pelas α- amilases, para reduzir o tamanho das moléculas de amido, o que causa a fluidificação da massa. O tamanho da molécula de amido se reduz, passando a reter menos água e diminuindo sua viscosidade. As enzimas podem ter origem do malte (10% do malte total a ser utilizado) ou em outras formas (SENAI, 2014).

Tabela 8. Temperatura de gelatinização de alguns adjuntos.

Adjuntos	Temperatura de gelatinização
Arroz	82ºC
Milho	78 ºC
Trigo	60 ºC
Cevada	65 ºC
Sorgo	75 ºC

Fonte: SENAI, 2014.

Os cozedores de adjuntos são basicamente, iguais a um cozedor de malte, mas usualmente necessitam de aquecimento mais rápido para poder ferver os cereais. A agitação deve ser constante e mais intensa para evitar os sobreaquecimentos pontuais e as superfícies quentes. É necessário que a agitação seja potente devido à alta viscosidade dos adjuntos quando se gelatinizam. A relação água\adjunto a ser utilizada é de 5:1. A operação de cozinhar adjuntos, usualmente iniciada utilizando-se a relação adjunto\água de 1:5, pois demasiada água diluiria as enzimas, o que significa que o amido não se converteria (SENAI, 2014).

É necessário adicionar enzimas aos adjuntos para que o amido seja convertido em açúcares e produza sua liquefação. As enzimas podem se originar de uma porção de malte que se agrega ao adjunto (como adiantamento) ou enzimas compradas comercialmente. Caso se utilize o malte, deve-se agregar 10% do peso do adjunto. Pode-se também, utilizar a infusão de malte no cozedor (250 litros equivalente a 100kg de malte aproximadamente). Caso seja utilizado a α-amilase externa de origem bacteriana ou fúngica, esta é adicionada diretamente ao adjunto, não sendo necessário agregar malte. Em geral essas α-amilases são mais resistentes à temperatura, especialmente a de origem fúngica (SENAI, 2014).

Segundo SENAI, 2014, a operação do cozedor de adjunto pode ser resumida na seguinte maneira:

- Misturar malte e água, aproximadamente 70ºC (no caso de se trabalhar com adiantamento);
- Agitar em alta velocidade e agregar o adjunto
- Aquecer entre 1ºC e 1,5ºC por minuto;
- Pausar a gelatinização e a liquefação (temperatura e tempo dependem do adjunto, em geral 75ºC.);
- Aumentar a temperatura até a ebulição (tempo depende do adjunto, em geral entre 15 e 45 min);
- Evitar sobre fervura, pois esta pode causar a formação de amido do açúcar (retrodegradação).

A medida que se inicia o processo de cozedor de adjuntos, começa o programa de brasagem. Os equipamentos formam um todo, não são duas coisas separadas. A velocidade de transferência determina a taxa de aumento de temperatura no cozedor principal. Os volumes e temperaturas do cozedor de adjuntos determinam a temperatura final da brasagem combinada (utilizada, antigamente, para os saltos de temperatura). Em caso de dificuldades na operação do cozimento de adjuntos e não se completando a liquefação, podem ocorrer os seguintes problemas: turbidez de carboidratos, mosto viscoso, perda de extrato, fermentação incompleta, alteração do perfil de sabor, incremento da possibilidade de contaminação

microbiológica. Nesses casos, o cervejeiro deve tomar a decisão sobre o que fazer com o cozimento (possibilidade de compensações, riscos, etc) (SENAI, 2014).

7.4 Filtração do mosto

A etapa de filtração do mosto é executada em uma tina de filtração normalmente de aço inoxidável, a qual contém um agitador, um disco filtrante, bomba centrifuga e isolante térmico, sendo que a casca do malte vai ser a principal camada filtrante. Após etapas de recirculação do mosto, a camada filtrante é lavada com mais água em temperatura adequada, objetivando aumentar a extração do açúcar e também o rendimento do processo (VENTURINI, 2012).

A mistura durante a filtração deve estar a uma temperatura de 75ºC, onde a viscosidade do mosto irá favorecer sua completa separação do resíduo, as enzimas do malte estarão inativas, o desenvolvimento bacteriano estará bloqueado e não existirá o risco de se extrair substancias insolúveis das matérias primas, principalmente os taninos da casca do malte (AQUARONE *et al.*, 2001).

7.5 Fervura

O mosto após a filtragem vai passar pela etapa de fervura e adição de lúpulo, ocasionando a inativação das enzimas, coagulação proteica, esterilização do mosto, liberação dos compostos amargos e aromáticos do lúpulo, aparecimento de substancias constituintes do aroma e sabor, evaporação de águas excedentes e componentes aromáticos indesejáveis a cerveja final. Realizada em panela de fervura, normalmente também de aço inoxidável. O acréscimo do lúpulo vai ser de acordo com o produto final desejado, sendo que a fervura do mosto vai até atingir a concentração de açúcar desejada, para o início da fermentação, com a evaporação de no máximo 10% do volume inicial (VENTURINI 2012).

7.6 Tratamento do Mosto

O tratamento do mosto é realizado com o objetivo de retirar o precipitado, estabelecer o resfriamento e posterior aeração. Na primeira etapa, quando a rotação forçada do meio, a força centrípeta precipita os complexos de proteínas, resinas e taninos denominados de *trub*, que sedimentam no fundo do tanque, são separados do mosto límpido. Depois da retirada do *trub* acontece o resfriamento do mosto através de um trocador de calor. Quando o mosto resfriado sai do trocador de calor ele passa para a etapa de fermentação (VENTURINI, 2012).

7.7 Fermentação

O ponto principal para a produção da cerveja é a fermentação. Que tem como principal objetivo a conversão dos açucares em etanol e gás carbônico, realizado pela levedura. As fermentações são iniciadas utilizando culturas de leveduras renovadas de 4 a 6 ciclos fermentativos. O fermento deve fornecer ao mosto células de leveduras entre 10^6 a 10^8 células/mL. Todos os carboidratos fermentescíveis (maltose, maltrotriose, glicose, etc) são metabolizados pela levedura. Outros subprodutos também são desenvolvidos durante essa etapa sendo que eles permanecem no liquido ou são assimilados pelas leveduras. As leveduras além do álcool e do dióxido de carbono produzem os compostos de aroma e de sabor da cerveja, como subprodutos de seu metabolismo, essa produção varia de acordo com o crescimento celular, influenciados pelas condições do processo. O fermentador é onde se realiza a fermentação onde a temperatura, a pressão interna, e o monitoramento da produção de dióxido de carbono são controlados (VENTURINI, 2012).

7.8 Maturação

A maturação é como uma fermentação secundária, sendo que poucas mudanças ocorrem nessa etapa. No processo tradicional de fabricação de cerveja a maturação pode durar semanas e até meses. Porém é nessa etapa que ocorre a formação de compostos como os diacetil, muito pesquisado hoje em dia, e percursores dele alfa-acetolactato, entre outros, que são produzidos e reduzidos pela levedura na fermentação e maturação. Essa formação de compostos, que vai influenciar o sabor da cerveja que é diretamente relacionado com o crescimento da levedura. Os tanques onde a cerveja é armazenada, permanecendo em tanques em baixas temperaturas, possibilita o desenvolvimento das reações proporcionando as características organolépticas finais do produto. Esse processo também ocasiona a clarificação, pela precipitação de leveduras e proteínas e também de sólidos insolúveis. Acontecem também alterações químicas que ajudam a clarificação e melhoram o aroma e o sabor (VENTURINI 2012).

7.9 Clarificação

Após a etapa de maturação, a cerveja contém as leveduras e ainda partículas coloidais como complexos proteínas-polifenóis e ainda substâncias insolúveis, devido ao pH e temperaturas baixas nesse processo. Para que o produto seja límpido e brilhante é necessária a etapa de clarificação antes do envase do produto final. As técnicas básicas de clarificação podem ser feita através: (1) sedimentação por gravidade, onde a cerveja é fermentada e resfriada durante longos períodos a temperaturas a 0ºC, promovendo assim a sedimentação das leveduras e de outras partículas em suspensão; (2) uso de agentes clarificantes, que devido a sua estrutura química, possuem carga

positiva e interagem com as células de leveduras (possuem cargas negativas), e com proteínas carregadas negativamente, e com posterior etapa de filtração, tem-se a remoção desses compostos; (3) centrifugação, que são utilizadas atualmente nas cervejarias dois tipos, a decantadora e clarificadora, separando assim as leveduras das cervejas antes da filtração; (4) filtração, que tem como objetivo remover o material em suspensão com partículas que variam de tamanho de 0,5 a 0,4 micrômetros e as leveduras residuais que provocam a turbidez na cerveja (VENTURINI ,2012).

7.10 Carbonatação

A gaseificação pode ser feita com injeção de CO_2 forçadamente, ou por *priming*. O dióxido de carbono (CO_2), responsável pela sensação de acidez deixada na boca, é um constituinte muito importante e que deve ser controlado para que o produto final esteja com a qualidade desejada. Sua solubilidade na cerveja é calculada por volume de CO_2 por volume de cerveja, em condições normais de temperatura e pressão, ou seja, um volume de CO_2 é igual a 0,196% de CO_2 em peso ou 0,4 Kg CO_2/hL. A cerveja após a fermentação principal e secundária contém no máximo 1,2 a 1,7 volumes desse gás, sendo que as cervejas prontas para o consumo final têm entre dois a três volumes de CO_2. A carbonatação forçada é feita pela injeção de CO_2 em linha, onde o CO_2 desidratado é injetado, por uma placa porosa de aço inox após a filtragem antes de ir para os tanques de armazenamento. Ou a carbonatação é feita em tanque, conhecidos como tanques de pressão, mantendo uma elevada contrapressão durante o seu enchimento, ocasionando a retenção de CO_2 na cerveja e diminuindo a formação de espuma (VENTURINI 2012).

Na produção de caráter artesanal é realizado o *primming*, que consiste na adição de açúcar na cerveja não filtrada, e imediato envasamento. Esse açúcar adicionado tem que ser o de mais fácil uso da levedura, portanto ele deve passar pelo processo de inversão na qual é fervido por algum tempo para que a sacarose se transforme em glicose mais frutose, e em baixo pH para que não haja caramelização. As leveduras da cerveja irão fermentar esse açúcar, e produzir CO_2, e por estar fechada, a garrafa vai pressurizar, e o gás carbônico irá se armazenar no líquido. Em geral, aumenta em 0,3% a graduação alcoólica da original (MATOS, 2011).

7.11 Envase

O envase constitui da etapa de engarrafamento, enlatamento ou embarrilamento do produto final. Esse processo é executado em um equipamento chamada enchedora no caso de garrafas e latas ou em máquinas de embarrilamento, quando o envase acontece em barris (VENTURINI, 2012).

8. LÓGICA FUZZY

Os princípios de lógica fuzzy foram desenvolvidos inicialmente por Jan Lukasiewicz (1878-1956), que em 1920 desenvolveu conjuntos com grau de pertinência que unidos aos conceitos da lógica clássica, criada por Aristóteles, deu embasamento suficiente para que na década de 60, Lofti Asker Zadeh, professor de Ciências da Computação da Universidade da Califórnia, chegasse a ser o primeiro autor de uma publicação sobre lógica fuzzy (RIGNEL *et al*, 2011).

A lógica fuzzy é uma ferramenta que contém o princípio da dualidade por isto é muito utilizada no apoio a decisão, ou seja, um elemento pode pertencer a um conjunto com certo grau e, concomitantemente, a outro conjunto com outro grau (CAMPOS FILHO, 2014).

A lógica fuzzy originou-se como uma teoria alternativa para se trabalhar com conjuntos, sendo esta mais flexível, sendo possível atender necessidades mais parecidas com a realidade. Esta teoria permite realizar a transição de pertinência de forma mais lenta e gradual, e não abrupta como na teoria usual de conjuntos. Lógica fuzzy pode ser chamada de lógica nebulosa ou difusa, recebe este nome por existir uma área nebulosa, onde os valores passam por uma transição (BILOBROVEC *et al.*, 2004).

O sistema de interferência Fuzzy possui vários benefícios, dentre eles, maior generalidade, maior poder expressivo, maior capacidade para modelar problemas do mundo real, e, por fim, uma metodologia para explorar a tolerância para imprecisão. Além disso, a lógica fuzzy pode ajudar a conseguir rastreabilidade, robustez e menor custo de solução. Ao contrário da lógica booleana que admite valores binários, a lógica fuzzy admite que um elemento pode pertencer a um ou mais conjuntos fuzzy com determinados graus de pertinência (HOFFMANN *et al*, 2016).

A utilização de logica fuzzy permite trabalhar com imprecisões, utilizando variáveis reais, estas variáveis podem ser temperatura, umidade, altura, etc. Para manipulação dessas variáveis são usados termos linguísticos como quente, esquentando, moderado, esfriando, frio,entre outros. Estes termos podem ser utilizados para uma variável de temperatura por exemplo. Por isso, a logica fuzzy tornou-se um grande aliado em soluções para sistemas de controle (BILOBROVEC *et al.*, 2004).

Atualmente, o uso deste conceito é essencial para o universo computacional, sendo considerada uma técnica eficiente e muito utilizada na área de controle de processos. Quando se pensa em programação, algoritmos e lógica, raramente se pensa em definir soluções com base em um tipo de conhecimento que é declarado de forma imprecisa e vaga (BARG, 2002). Já no cotidiano são encontradas situações diferentes da lógica booleana, como por exemplo:

- Espere a água esquentar;
- Esta pessoa é velha;
- Este local é perto.

Nestes casos, pode-se observar que estes conceitos não são exatos, pois o que determina quando a água está quente? Quantos anos uma pessoa velha tem? Ou qual distância que determina se um lugar é perto? Em nenhuma destas situações é usada uma variável exata para diferenciar um aspecto de outro. Porém, como geralmente necessita-se solucionar problemas de lógica imprecisa do dia-a-dia em software, surgiu a necessidade de implementar uma lógica que fosse booleana. Devido a isso, originou-se a lógica fuzzy (GOMIDE *et al.*, 1992).

A lógica fuzzy foi conhecida nos meios científicos em 1965 por Lofti Asker Zadeh, através da publicação do artigo Fuzzy Sets no Jornal Information and Control. Atualmente, ela é de enorme importância em diversos sistemas, sendo considerada uma técnica de excelência no universo computacional. Também possui grande interesse na área de controle de processos. O conceito fuzzy pode ser entendido como uma situação em que não é possível responder simplesmente "sim" ou "não". Mesmo conhecendo as informações necessárias sobre a situação, dizer algo entre "sim" e "não", como "talvez" ou "quase", torna-se mais apropriado (HOFFMANN *et al*, 2016).

Segundo HOFFMANN *et al*, 2016, conceitos muito importantes foram definidos por Lin e Lee (1996) e Ross (2010) para o entendimento dos conjuntos fuzzy, como:

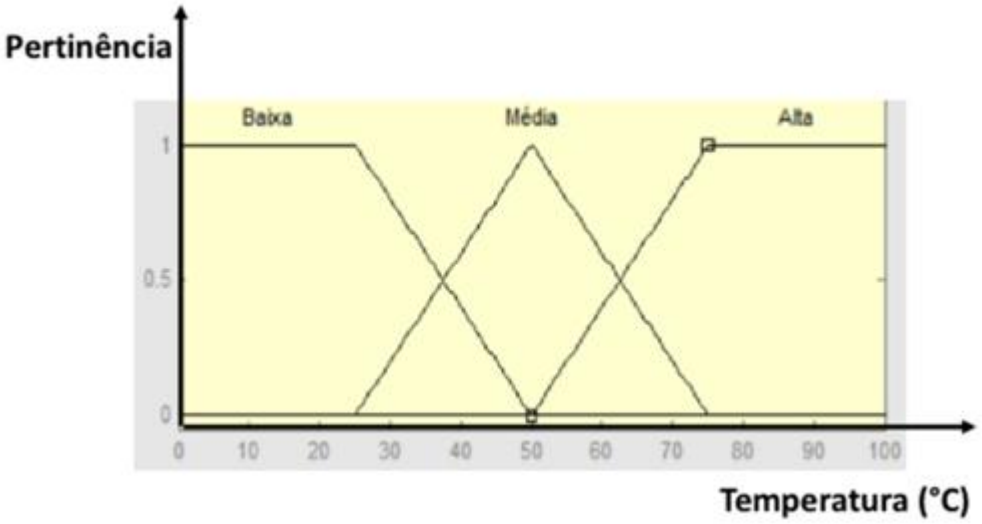
- Um conjunto fuzzy A em um universo X é definido por uma função de pertinência $\mu A(x) : X \rightarrow [0,1]$, e representado por um conjunto de pares ordenados e está descrita pela Equação 1.

$$A = \{ \mu A(x) /x\} \; x \in X \; (1) \qquad (1)$$

Na qual $\mu A(x)$ indica o quanto x é compatível com o conjunto A, ou seja, o grau de pertinência de x em relação ao conjunto A. Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto fuzzy, com diferentes graus de pertinência;

- O conjunto suporte de um conjunto fuzzy A é o conjunto de elementos no universo X para os quais $\mu A(x) > 0$; Uma variável linguística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy. Por exemplo, a temperatura de um tanque industrial pode ser uma variável linguística admitindo valores baixa, média e alta. Estes valores são representados através de conjuntos fuzzy, representados por funções de pertinência, como mostra a Figura 6.

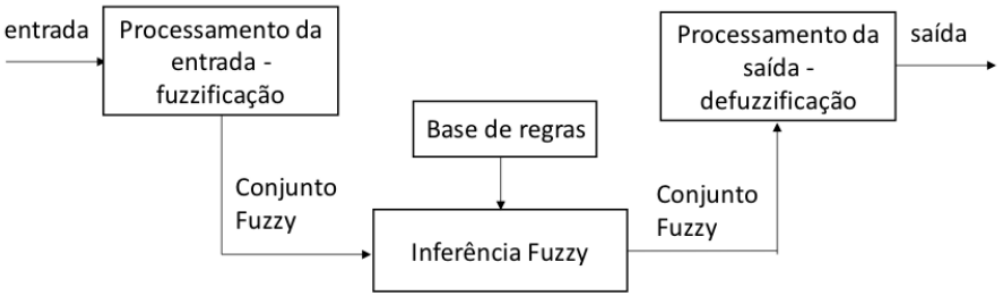
Figura 6. Funções de pertinência para a variável linguística temperatura



Fonte: (HOFFMANN *et al*, 2016).

Dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas, pode existir diferentes formas para as funções de pertinência. Através da análise da Figura 6 tem-se funções de pertinências trapezoidais (baixa e alta) e triangular (média). Para melhor entendimento do funcionamento do sistema de inferência fuzzy, a Figura 7 representa um sistema composto por quatro componentes: processamento da entrada (fuzzificação); a base de regras; a inferência fuzzy, e; o processamento de saída (defuzzificação).

Figura 7. Funcionamento do sistema de inferência fuzzy



Segundo a Figura 7 a fuzzificação ou o processamento da entrada significa agregar incerteza realista a conjuntos clássicos. Nessa etapa os conjuntos ordinários (crisp sets) são transformados em conjuntos fuzzy, essa transformação é feita por meio da junção das funções de pertinência com os elementos originais (valores numéricos). A base de regras fuzzy é constituida por um conjunto de várias regras fuzzy. Toda regra possui um antecedente e um consequente, e são representados do tipo “se - então”. As bases de regras estão diretamente associadas ao problema em si a ser modelado. A inferência fuzzy é a etapa de combinação dos graus de pertinência através de uma base

de regras previamente definidas. Na defuzzificação, ou processamento da saída o conjunto fuzzy é transformado em um elemento do universo de discurso (geralmente, números reais), ou seja, é o processo inverso da fuzzificação (HOFFMANN *et al*, 2016).

Uma das técnicas mais usuais de defuzzificação é da do centroide, mas existem outros métodos utilizados são: bissetor; média dos máximos; menor dos máximos; e maior dos máximos (Tanscheit *et al.*,2007).

A teoria de modelagem e controle fuzzy relacionam entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle. Isso permite a consideração de processos complexos, de modo que os sistemas de controle resultantes favorecam um resultado mais aprimoraso, além de um desempenho estável e robusto. A simplicidade de implementação de sistemas de controle fuzzy pode reduzir a complexidade de um projeto de modo que problemas anteriormente intratáveis passam agora a ser solucionáveis (TANSCHEIT *et al.*,2007).

9. METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho, detalhando as etapas e técnicas adotadas. A seção 9.1 apresenta o procedimento empregado no despolpamento e prensagem do fruto, para a retirada do óleo e obtenção da torta residual (matéria-prima). A seção 9.2 mostra a metodologia para o cálculo do teor de óleo presente na torta de macaúba, de onde é realizada a extração do óleo. Na seção 10 descreve os processos de produção das cervejas e na seção 11 apresenta as técnicas de caracterização físico- química e organoléptica da cerveja.

9.1 Obtenção da Matéria-prima

Os frutos foram coletados da palmeira localizada no campus da UFMG buscando o máximo de qualidade e diminuindo o risco de contágio por microrganismos presentes no solo. Após a higienização dos frutos, os frutos foram secados em estufa de convecção natural com objetivo de retirar a umidade. Os frutos foram divididos em grupos e em seguida a macaúba foi despolpada utilizando a despolpadora do laboratório de Processos do Fruto da Macaúba, do Departamento de Engenharia Química, EEUFMG (Figura 8).

Figura 8. Despolpadora mecânica

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Antes do despolpamento, foi retirado o excesso de umidade dos frutos através da secagem em estufa à 60ºC como mostrado na Figura 9. Inicialmente realizou-se a retirada da casca na despolpadeira, adicionando-se aproximadamente 5 quilos da macaúba por batelada aproximadamente, após a retirada da casca adicionou-se os frutos descascados novamente ao equipamento para a retirada da polpa. A casca e a polpa saem na parte frontal da despolpadora e as amêndoas saem pela lateral.

Figura 9. Secagem dos frutos

Fonte: acervo pessoal (2018).

Em seguida, as polpas resultantes do processo de despolpamento foram colocadas em bandejas de alumínio e realizou-se a secagem das polpas por 42 horas em estufa a 60ºC como ilustrado na Figura 10. A secagem é realizada para remoção parcial da umidade com o objetivo de

facilitar o processo de extração do óleo, pois, quando se tem teores menores que 20% de umidade o processo se torna mais eficiente e rápido e ainda não ocorre o enchimento do equipamento.

Figura 10. Secagem da polpa

Fonte: acervo pessoal (2018).

As polpas desidratadas passaram por uma cominuição através de um triturador semi-industrial e através de uma maceração mecânica através do esmagamento da torta de macaúba acondicionada em sacos plásticos usando um martelo. A prensagem da polpa para obtenção do óleo e da torta residual também foi realizada no laboratório de Processos e Produtos do Fruto da Macaúba, da Escola de Engenharia Química, EEUFMG.

Em seguida foi realizada a extração em prensa mecânica como apresentado na Figura 11. A polpa da macaúba desidratada e cominuída foi colocada na prensa, onde esta passou por um eixo mais estreito forçando a passagem da mesma, então por meio da força mecânica a torta é prensada e se obtém o óleo de macaúba e a torta residual. A torta foi armazenada e utilizada nesse trabalho e o óleo foi filtrado e armazenado para posteriores pesquisas. As etapas de todo o processo de obtenção da torta residual estão representadas no fluxograma abaixo (Figura 12).

Figura 11. Prensa mecânica utilizada na extração do óleo da macaúba.

Fonte: Acervo pessoal, 2018.

Figura 12. Fluxograma de representação das etapas do processo de obtenção da torta residual.

1. Colheita dos frutos
2. Secagem dos frutos em estufa à 60°C
3. Retirada da casca em despolpadeira mecânica
4. Retirada da polpa em despolpadeira mecânica
5. Secagem da polpa durante 42h à 60°C
6. Cominuição
7. Prensagem mecânica

9.2 Caracterização da Torta Residual quanto ao teor de lipídeos

Foram realizados testes preliminares com as diferentes tortas obtidas, para saber a composição de cada porção. Caracterizou-se a matéria prima segundo sua composição centesimal de óleo. A análise foi realizada segundo as normas da AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*). O método utilizado foi o Método de Soxhlet, e é um exemplo do processo contínuo de extração de lipídios a partir de alimentos. Os óleos/gorduras foram extraídos por repetidas lavagens com solvente orgânico sob refluxo. O cálculo do resultado de extração, foi realizado segundo a Equação 2:

$$\%\text{de lipídeos} = \frac{(massa\ do\ balão + massa\ de\ óleo\ extraído) - (massa\ balão\ vazio) * 100}{massa\ da\ amostra\ pesada} \quad (2)$$

10. METODOLOGIA DA PRODUÇÃO DAS CERVEJAS

Inicialmente foi produzida uma cerveja puro malte (branco) para fins de comparação com a cerveja especial de macaúba, as duas cervejas se enquadram no mesmo estilo pelo BJCP e foram utilizados os mesmos parâmetros para fabricação. Foi utilizada a técnica de infusão para as duas cervejas produzidas. O volume de produção para ambas foram 20 litros e a fabricação ocorreu no laboratório de Engenharia Química da UFMG. A cerveja especial foi produzida substituindo 20% do malte pela torta de macaúba. A decisão de utilizar 20% de macaúba se deu baseado na literatura já que, abusos de adjuntos podem resultar em mostos pobres para a fermentação, relacionados à falta de nitrogênio no meio e também pode resultar em elevada viscosidade. Além disso, altas concentrações podem proporcionar altos níveis de diacetil e álcoois superiores, componentes indesejáveis nas cervejas.

10.1 Matérias-primas

As matérias primas utilizadas para a fabricação das cervejas foram compradas na Casa Olec, situada na cidade de Belo Horizonte. A receita utilizada foi baseada em uma *Saison*, na qual foi utilizada uma base *Ale*. A escolha por este tipo de cerveja se deve ao fato de ser uma categoria de cervejas que normalmente combina com frutas. As quantidades necessárias para a receita foram calculadas pelo software *Beersmith Home Brewing* ®.

Tabela 9. Matérias-primas utilizadas na produção das cervejas.

Cerveja puro malte	Cerveja especial de macaúba
1,5Kg de malte *Munich II*	0,84Kg de torta de macaúba
1,35Kg de malte *Pale Ale*	1,68Kg de malte *Pale Ale*
1,35Kg de malte *Pilsen*	1,68Kg de malte *Pilsen*
19,20g de lúpulo *Perle*	19,20g de lúpulo *Perle*
27g de lúpulo *Fuggles*	27g de lúpulo *Fuggles*
25L de água	25L de água

Fonte: Acervo pessoal, (2018).

10.2 Processo de Produção de Cerveja

Para minimização das possibilidades de contaminação, inicialmente lavou-se todos os equipamentos com sabão neutro para remoção dos resíduos orgânicos e minerais presentes nas superfícies dos equipamentos. Em seguida todos os equipamentos foram sanitizados com álcool 70°GL com a finalidade de remover os microrganismos, reduzindo a níveis satisfatórios. É importante ressaltar que, para que esses procedimentos alcancem seus objetivos plenamente, é fundamental que a água utilizada no processo esteja dentro dos padrões de qualidade, por isso utilizou-se água mineral comercial.

10.2.1 Cerveja Puro malte (Branco)

Realizou-se o aquecimento de 14 litros de água mineral na panela com o fundo falso, até que se atingisse a temperatura de 74,2,ºC. O malte moído foi adicionado nesta panela começando assim o processo denominado brasagem com constante recirculação do mosto através de uma bomba. Nessa etapa o objetivo é a extração dos açúcares contidos nos grãos através de um processo químico enzimático. O controle da temperatura foi realizado através de um termômetro.

Nos 30 minutos iniciais da brassagem, realiza-se o teste do iodo para observar o nível de conversão de amido em açúcar. Para o teste, pinga-se três gotas de solução de iodo em uma placa de *Petri*. Em seguida retira-se uma pequena amostra (três gotas) do mosto e dispõe sobre uma das soluções de iodo na placa de petri. Observa-se se existe diferença de cor. Caso esteja uma coloração mais escura da amostra em relação a cor do iodo este é o indicativo de que nem todo o amido ainda foi transformado em açúcar.

Em seguida realiza-se a etapa do *Mach Out*, que é uma etapa que se aumenta a temperatura para ocorrer o processo de inativação das enzimas. Para isso, elevou-se a temperatura do mosto até 75,6°C. Manteve-se essa temperatura por dez minutos, sem que se se realize qualquer agitação.

Essa etapa é importante para que os sólidos se decantem de forma a se arranjarem em uma estrutura de “filtro de bagaços/cascas”.

Posteriormente drenou-se o líquido do fundo da panela como finalidade filtrar o mosto obtido, já que a malha de grãos promove uma excelente camada filtrante.

Deu-se prosseguimento a etapa de recirculação com a etapa de lavagem do mosto, que consiste em adicionar água aquecida a 75,6ºC com a finalidade de lavar os grãos para extrair o máximo de açúcares. A lavagem consiste na dispersão da água aquecida sobre o bagaço com o auxílio da pá cervejeira de modo a não desfazer a constituição do “filtro de bagaços/cascas”. Deve-se evitar dispersar a água na mesma região para que não ocorra a formação de caminhos preferenciais através da massa de grãos.

Mede-se a densidade com o refratômetro para conferência, com o objetivo de atingir uma densidade de 1,041 g/mL, conforme a receita a recita obtida pelo *software Beersmith*. Geralmente nesta etapa, a densidade estará acima do esperado, então corrige-se esta densidade através da água de lavagem.

Em seguida, o mosto filtrado foi transferido a outra panela para iniciar o processo de fervura. Logo depois do mosto entrar em ebulição, adicionou-se 19,20 de lúpulo *Perle*. Completados os 60 minutos de fervura (esterilização do mosto e dissolução do lúpulo), adicionou-se 27g de lúpulo *Fuggles* e retirou-se a panela do fogo. Ao final da fervura havia sólidos insolúveis presentes no mosto. Para retira-los uma força centrípeta é necessária, para isso, com a ajuda da pá cervejeira mistura-se o mosto em movimento circular vigoroso durante 10 minutos (*whirlpool*), para formar um rodamoinho para remoção da parte vegetativa do lúpulo e decantação das proteínas coaguladas. É necessário descansar o mosto por 20 minutos para favorecer esse depósito de material no fundo da panela. Mediu-se a densidade novamente para observar se estava em conformidade com a receita, nesta etapa o objetivo era atingir uma densidade de 1,049SG.

Resfriou-se o mosto para evitar que a alta temperatura inativasse as leveduras que seriam adicionadas posteriormente a este processo. O resfriamento foi feito através de um chiller na qual o fluxo de água fria (água com gelo) corre dentro do chiller e este se encontra dentro do mosto, para assim ser refrigerado. O mosto resfriado foi transferido para um fermentador de trinta litros.

Posteriormente, fez-se hidratação do pacote de levedura com 230 ml de água destilada para favorecer a propagação de levedura. Mediu-se a densidade para obtenção do valor inicial da etapa de fermentação. Após a hidratação, adicionou-se a levedura ao balde fermentador. Rosqueou-se a tampa do fermentador e neste adicionou-se o *Airlock*. O Airlock permite que CO_2 gerado pela ação das leveduras seja liberado e ao mesmo tempo impede a entrada do ar externo para dentro do fermentador evitando contaminação. Por fim, deixou-se os fermentadores durante 7 dias a uma

temperatura de 20ºC e 3 dias à 23 ºC. Abaixou-se a temperatura da geladeira para 0°C dando início a maturação que ocorreu durante 7 dias.

Para a etapa de envase foi realizado o *primming*, que consiste na adição de açúcar simples refinado ao mosto fermentado. Adicionou-se 93,5g de açúcar em 17 litros de cerveja (uma proporção de 5,5g de açúcar por litro de cerveja) e homogeneizou-se a mistura. Este açúcar adicionado irá servir de fonte de carboidrato para as leveduras ali presentes continuarem com o processo de fermentação.

Por fim, a cerveja foi envasada nas garrafas, que foram esterilizadas em autoclave. Lacrou-se então as garrafas de 300 mL utilizando um lacrador manual. Reservou-se as garrafas em temperatura 20°C durante 7 dias para a etapa de carbonatação

Após a carbonatação realizou-se análises de acordo com a regulamentação do Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA) dos seguintes parâmetros: Acidez Total, Proteínas Totais, pH, Teor de Cinzas, açucares totais, cor, densidade e teor alcoólico.

10.2.2 Cerveja especial de macaúba

Realizou-se o aquecimento de 14 litros de água mineral na panela com o fundo falso, até que se atingisse a temperatura de 74,2ºC. Adicionou-se o malte moído e a torta de macaúba dando início a etapa de brasagem com o mosto em constante agitação. Nessa etapa o objetivo é a sacarificação, ou seja, a extração dos açúcares contidos nos grãos através de um processo químico enzimático. A temperatura foi controlada através de um termômetro.

Nos 30 minutos iniciais da brasagem (Figura 13), realiza-se o teste do iodo para observar o nível de conversão de amido em açúcar. Observa-se se existe diferença de cor. Caso esteja uma coloração mais escura da amostra em relação a cor do iodo este é o indicativo de que nem todo o amido ainda foi transformado em açúcar. Em seguida realiza-se a etapa do *Mach Out*, que é uma etapa que se aumenta a temperatura para ocorrer o processo de inativação das enzimas. Para isso, elevou-se a temperatura do mosto até 75,6°C. Manteve-se essa temperatura por dez minutos, sem que se se realize qualquer agitação com a pá cervejeira ou outro equipamento para que os sólidos se decantem de forma a se arranjarem em uma estrutura de “filtro de bagaços/cascas”.

Figura 13. Etapa de brasagem.

Fonte: Acervo pessoal (2018).

Posteriormente drenou-se o líquido do fundo da panela e recirculou-o pela camada de grãos através de uma bomba, começando a etapa de recirculação do mosto, que tem como finalidade filtrar o mosto obtido, já que a malha de grãos promove uma excelente camada filtrante.

Deu-se prosseguimento com a etapa de lavagem do mosto, que consiste em adicionar água aquecida a 75,6ºC com a finalidade de lavar os grãos para extrair o máximo de açúcares. A lavagem consiste na dispersão da água aquecida sobre o bagaço com o auxílio da pá cervejeira de modo a não desfazer a constituição do "filtro de bagaços/cascas". Deve-se evitar dispersar a água na mesma região para que não ocorra a formação de caminhos preferenciais através da massa de grãos. Mede-se a densidade com o densímetro para conferência, com o objetivo de atingir uma densidade de 1,042g/mL, conforme a receita a recita obtida pelo *software Beersmith*.

Durante a lavagem, observou-se que muitas partículas finas estavam passando pelo fundo falso, então passamos todo o mosto por uma peneira, para obter um mosto mais clarificado. Em seguida, o mosto filtrado foi transferido para outra panela e começou-se a etapa de fervura. Logo depois do mosto entrar em ebulição, adicionou-se 19,20g de lúpulo *Perle*. Completados os 60 minutos de fervura (esterilização do mosto e dissolução do lúpulo), adicionou-se 27g de lúpulo *Fuggles* e retirou-se a panela do fogo. Ao final da fervura havia sólidos insolúveis presentes no mosto. Para retira-los realizou-se uma força centrípeta com a ajuda da pá cervejeira, misturando-se

o mosto em movimento circular durante 10 minutos (*whirlpool*), para formar um rodamoinho para remoção da parte vegetativa do lúpulo e decantação das proteínas coaguladas. Deixou-se descansar o mosto por 20 minutos para favorecer esse depósito de material no fundo da panela.

Resfriou-se o mosto para evitar que a alta temperatura inativasse as leveduras que seriam adicionadas posterirormente a este processo. O resfriamento foi feito através de um chiller e o mosto resfriado foi transferido para um fermentador de 30 litros cada.

Posteriormente, com base no *software Beersmith*, fez-se hidratação do pacote de levedura. Mediu-se a densidade para obtenção do valor inicial da etapa de fermentação que deve estar em torno de 1,050SG. Após a hidratação, adicionou-se a levedura no balde fermentador, rosqueou-se a tampa do fermentador e neste adicionou-se o *Airlock*. Por fim, deixou-se os fermentadores durante 7 dias, a uma temperatura de 20ºC**.** Durante esta etapa, ocorreu um problema na fermentação, pois a geladeira desligou, permanecendo 3 dias fora da temperatura indicada. Desta forma, optou-se por estender o período de fermentação por mais10 dias.

Após os 20 dias de fermentação, abaixou-se a temperatura da geladeira para 0°C dando início a maturação que ocorreu durante 7 dias.

Para a etapa de envase foi realizado o *primming*, que consiste na adição de açúcar simples refinado ao mosto fermentado. Adicionou-se 71,5g de açúcar em 13 litros de cerveja (uma proporção de 5,5g de açúcar por litro de cerveja) e homogeneizou-se a mistura. Este açúcar adicionado irá servir de fonte de carboidrato para as leveduras continuarem com o processo de fermentação.

Por fim, a cerveja foi envasada nas garrafas de 300ml utilizando um lacrador manual. Reservou-se as garrafas em temperatura 20°C durante 7 dias para a etapa de carbonatação.

11. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas das cervejas foram realizadas segundo o Manual de Métodos de Análises de Bebidas e Vinagres exigidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuárias e Abastecimento (MAPA, 2008). O Ministério da Agricultura registra e fiscaliza bebidas alcoólicas e não alcoólicas. A qualidade na elaboração e industrialização desses produtos deve ser atestada para que não ofereçam riscos à saúde humana.

Os testes serão realizados nos Laboratórios de Química, Biotecnologia e Físico-química da UFSJ- Campus Alto Paraopeba. As análises foram realizadas em triplicatas e as amostras estavam descarbonatadas. Para a descarbonatação (remoção do dióxido de carbono), as amostras foram transferidas para um béquer e aquecidas em chapa de aquecimento até total evaporação do CO_2.

11.1 Análise Organoléptica

Segundo MAPA (2008), as características organolépticas de um produto (aspecto, cor, odor e sabor) refletem a qualidade do processamento e dos ingredientes utilizados na elaboração do mesmo. Antes da abertura da amostra deve-se observar:

- Aspecto: ausência de elementos estranhos a natureza do produto.
- Coloração característica com a origem dos componentes da matéria prima.
- Limpidez: ausência de corpos estranhos, depósitos e/ou turvações.
- Vazamentos: o recipiente não deve apresentar vazamento.
- Estufamento: (gases) estado da embalagem.
- Outros aspectos relevantes da embalagem e da aparência

No ato da abertura da embalagem deve-se verificar:

- Imediatamente: o odor, a aparência e a presença de gases (adicionados propositadamente ou devido a alguma anormalidade).
- Por degustação: sensação na boca e possível alteração de sabor.

Na expressão do resultado, revelar como NORMAL ou ANORMAL. Se o resultado for anormal deverá especificar no campo observações do certificado de análise qual a anormalidade encontrada.

11.2 Análise de sólidos totais

Seguiu-se o protocolo de análise de sólidos totais exigido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). É um Método Gravimétrico, que se baseia na evaporação da água e substâncias voláteis a 105°C e pesagem do extrato não volatilizado. Quando as amostras atingiram peso constante, subtraiu-se o peso do béquer e comparou-se com o peso inicial da amostra, sendo demonstrado em porcentagem. Foi realizada uma média aritmética com os resultados obtidos. Para a obtenção dos valores de sólidos totais (%) utilizou-se a Equação 3.

$$St(\%) = \frac{m \times 100}{V} \qquad (3)$$

Onde:

m= massa de extrato em gramas

V=massa da amostra em gramas.

11.3 Acidez total

É um método titulométrico (acidimétrico), que se baseia na reação de neutralização dos ácidos com solução padronizada de ácali, até o ponto de equivalência ou potenciômetro até pH=8,2 (MAPA, 2008). Para a obtenção dos valores de acidez total (meq/L) utilizou-se a Equação 4.

$$At = \frac{1000 \times n \times N}{V} \qquad (4)$$

Onde

At	=	Acidez total em meq/L.
n	=	Volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, em mL.
N	=	Normalidade da solução de hidróxido de sódio.
V	=	Volume da amostra em mL.

11.4 pH

Seguiu-se o protocolo de análise do pH exigido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que se baseia em medir a diferença de potencial entre dois eletrodos mergulhados no líquido estudado através de um pHmetro. Um dos eletrodos tem um potencial que é uma função definida do pH deste líquido, o outro tem um potencial fixo e conhecido, e constitui o eletrodo de referência.

11.5 Densidade

A medida da densidade durante a produção de cerveja é utilizada para aferir o teor de açúcar no meio. O densímetro possui uma escala de 1.000 a 1.100 para determinar a densidade durante o processo de elaboração do mosto, bem como a atenuação do extrato durante a fermentação. Necessita-se de um cilindro volumétrico (proveta) de 250 ml, podendo ser de plástico ou de vidro. Sendo a densidade da água 1.000, ao adicionar açúcar na água, sua densidade irá aumentar. É o que ocorre na brassagem, onde o amido do malte é convertido em açúcar, aumentando assim a sua densidade. A maioria das cervejas apresenta uma densidade inicial (OG – *original gravity*), medida antes da inoculação do fermento, entre 1.035 a 1.060. Já na fermentação, as leveduras consomem o açúcar produzindo álcool e dessa forma a concentração de açúcar diminui, diminuindo a densidade durante a fermentação (LAMAS, 2014).

Utilizando um densímetro de massa específica, mediram-se a densidade antes, durante e após a fermentação, a 20°C, da cerveja artesanal produzida.

O densímetro de massa específica é essencial para medir o progresso da fermentação (atenuação), que permite obter o volume de álcool final na cerveja. O densímetro manual é um instrumento que mede a densidade de líquidos em relação a densidade da água. Apesar de ser um equipamento muito preciso, o densímetro manual possui algumas desvantagens, como o desperdício de cerveja na leitura do mosto fermentado. Durante a leitura é preciso usar uma proveta de 250 mL e o líquido utilizado para medir a fermentação deve ser descartado para evitar a contaminação da cerveja. Desta forma, em cada medição da densidade, 250 mL de cerveja são desperdiçados (isso para medições de densidade final) (LAMAS, 2014).

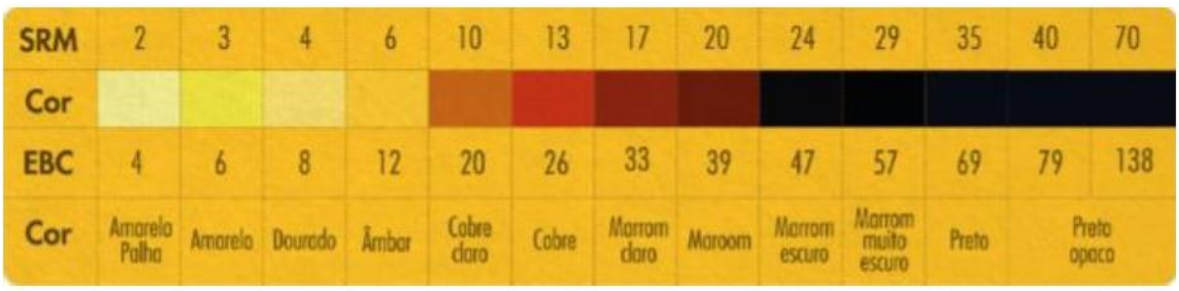
11.6 Cor

Para avaliar a cor da cerveja duas escalas são comumente utilizadas: a EBC (European Brewing Convention), europeia, e a SRM (*Standard Reference Method*), americana, conforme a figura 14. Ambas as escalas utilizam a espectrofotometria para definir o padrão das cores das cervejas. As escalas iniciam-se em zero, mas não há um valor máximo definido. A escala europeia classifica como cervejas claras aquelas que possuem 20 ou menos unidades EBC, e como cervejas escuras as que apresentam mais de 20 unidades EBC. Essas mesmas escalas são utilizadas para a classificação da cor do malte.

Para analisar os parâmetros relacionados à cor da cerveja produzida, foi utilizado o método *ASBC 10- A*. Realizou-se o cálculo de *SRM* a partir do valor da absorbância a 430 nm, conforme a Equação 5 .

$$SRM = 12{,}7 \times \text{Fator de diluição (D)} \times \text{Absorbância (Abs)} \qquad (5)$$

Figura 14. Classificação de cervejas quanto à cor.



SRM	2	3	4	6	10	13	17	20	24	29	35	40	70
Cor													
EBC	4	6	8	12	20	26	33	39	47	57	69	79	138
Cor	Amarelo Palha	Amarelo	Dourado	Âmbar	Cobre claro	Cobre	Marrom claro	Maroom	Marrom escuro	Marrom muito escuro	Preto	Preto opaco	

Fonte: Dinslaken (2016).

11.7 Teor alcóolico

O teor alcoólico é um parâmetro de enorme importância quando se trata de cerveja. Ele é obtido durante a fermentação, onde as leveduras consomem os açucares fermentescíveis do mosto gerando álcool e CO_2.

Durante a produção da cerveja o teor alcoólico foi obtido medindo a densidade do produto antes da inoculação do fermento (OG – *Origin Graviyi*) e depois da carbonatação (FG – *Final Gravity*).

Segundo LAMAS (2014), a fórmula utilizada para se calcular a quantidade de álcool na cerveja é:

$$ABV\ (concentração\ de\ alcool) = (Densidade\ inicial - Densidade\ Final)\ X\ 131 \qquad (6)$$

Exemplo: com uma densidade inicial de 1,069 e final de 1,013 teremos, pela fórmula acima, uma cerveja com 7,3% de álcool.

De acordo com MORADO (2009), o padrão de medida atualmente utilizado é o ABV (*alcohol by volume*) ou, em português, APV (álcool por volume). As cervejas podem ser divididas, quanto ao teor alcoólico, em quatro grupos: cervejas sem álcool, de baixo, médio e alto teor alcoólico, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Classificação das cervejas quanto ao teor alcoólico.

APV	Classificação
Inferior ou igual a 0,5%	Cerveja sem álcool
Entre 0,5% e 2,0%	Cerveja de baixo teor alcoólico
Entre 2,0 e 4,5%	Cerveja de médio teor alcoólico
Superior a 4,5%	Cerveja de alto teor alcoólico

Fonte: Morado (2009).

11.8 Cinzas

É um método gravimétrico que tem como princípio a quantificação do resíduo, após eliminação da matéria orgânica e inorgânica volátil quando a amostra é incinerada a 550 C± 25°C, até que o resíduo se torne branco ou acinzentado (MAPA, 2008). Para obtenção da concentração de cinzas (g/L) utiliza-se a Equação 7:

$$C = D \times (a - b) \qquad (7)$$

Onde

C= Cinzas da amostra em gramas por Litro (g/L)

a= Massa do cadinho com cinzas, em gramas.

b= Massa do cadinho, em gramas.

D= Fator relacionado à tomada de amostra (D = 40 p/ 25 mL e D = 100 p/ 10 mL).

12. RESULTADOS E DISCUSSÃO

12.1 Obtenção da matéria prima

O processo de despolpamento obteve-se porções de aproximadamente 5kg de polpa, que foram levadas para processo de para secagem. As polpas foram secadas em estufa por 42 horas. Posteriormente a polpa parcialmente desidratada passou por uma cominuição que reduziu consideravelmente seu tamanho.

Posteriormente, a polpa foi dividida em sete grupos e posteriormente prensada, nesta etapa, por algumas vezes ocorreu queima da polpa quando esta era prensada acima de 5 vezes, observando-se a necessidade de controle e ajuste da abertura da prensa. Considera-se que no início a prensa deve estar com menor distância do eixo. Até no final é necessário reduzir a pressão, dessa forma, vai aumentando a distância da folga da prensa.

Figura 15. Torta obtida após a prensagem.

Fonte. Acervo pessoal (2018).

Após extração do óleo (prensagem) obteve-se 7 grupos de tortas que foram armazenadas em sacos plásticos e refrigeradas a 7ºC para posteriormente fazer a análise de lipídeos.

Tabela 11. Massa de torta dos grupos.

Grupo	Massa da torta resultante (Kg)
1	1,64
2	2,26
3	2,84
4	2,33
5	2,26
6	4,23
7	0,91

Fonte: Acervo pessoal (2018).

12.2 Caracterização da torta quanto ao teor de óleo

A Tabela 12, apresenta a porcentagem de lipídeos de cada grupo de torta, a grupo 1 foi o que apresentou menor teor de lipídeos, com uma porcentagem média de 4,9%. Desta forma, a torta do grupo 1 foi usada para a produção da cerveja especial de macaúba.

Tabela 12. Porcentagem de lipídeos nas tortas dos grupos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Grupo	Torta (Kg)	% de lipídeos
1	1,64	4,93
2	2,26	12,37
3	2,84	18,10
4	2,33	20,36
5	2,26	31,63
6	4,23	30,97
7	0,911	37,64

Fonte: Acervo pessoal, (2018).

12.3 Resultados do processo de Produção da cerveja

12.3.1 Cerveja puro malte

Na etapa de brasagem, durante a os trinta minutos iniciais, quando se estabilizou a temperatura do mosto nos 68,9°C, realizou-se o teste do iodo. De acordo com o teste notou-se que ainda não havia ocorrido a conversão da maior parte do amido em açúcares fermentáveis. Seguiu-se com a brassagem normalmente, com constante agitação do mosto. Trinta minutos depois, com um

novo teste de iodo, observou-se que grande parte do amido havia convertido em açucares, passando-se então para a etapa de *mach out* e lavagem dos grãos. Para etapa de lavagem calcula-se a quantidade de água para lavagem através da densidade do mosto. A densidade medida no final da mosturação foi de 1,068SG, porém a densidade indicada pela receita seria 1,041SG. Desta forma, o volume de água de lavagem utilizado foi calculado para obter uma gravidade final de 1,041SG. Calculou-se o volume de água de lavagem pela Eq. 8.

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$$
$$1{,}068 \times 14L = 1{,}041 \times V_2 \qquad (8)$$
$$V_2 = 14{,}37L$$

Em outra panela, já estava aquecendo aproximadamente 15 litros de água a 75,6°C, utilizou-se então 14,37 litros de água para a lavagem. Nesta etapa, abriu-se a válvula de saída do mosto da panela, pela parte de baixo e retirando o mosto filtrado para outra panela, o mosto foi sendo filtrado adicionando-se a água de lavagem aos poucos para extrair todo o açúcar da camada de grãos. Após transferir todo o mosto para a outra panela, iniciou-se a etapa de fervura, elevando-se a temperatura do mosto para a realização das etapas de lupulagem. Em seguida elevou-se a temperatura do mosto até que iniciar a fervura para a realização das etapas de lupulagem. Nesta etapa, as massas dos lúpulos adicionados foram de 32g. As próximas etapas, de resfriamento e fermentação ocorreram conforme descritos na metodologia. A densidade medida antes da fermentação foi de 1,044g/ml.

Após três dias de fermentação, mediu-se a densidade obtendo um valor de 1,024. Passados os 7 dias de fermentação, mediu-se novamente a densidade obtendo 1,015 indicando que a fermentação foi eficiente. Com ocorreu diminuição da densidade, de 1,040g/ml (antes da fermentação) para 1,015 g/ml (após a fermentação), pode-se concluir que a fermentação foi eficiente, ou seja, as leveduras estavam consumindo os açúcares presentes no mosto. As medições das densidades ao longo do processo estão apresentadas na tabela 14.

Tabela 13. Densidades medidas ao longo do processo de produção da cerveja puro malte.

Etapa	Densidade (g/ml)
Início da mosturação	1,068
Final da mosturação	1,041
Início da fermentação	1,044
Após três dias de fermentação	1,024
Após 7 dias de fermentação	1,015
Após maturação	1,015

Fonte: Acervo pessoal, (2018).

A maturação foi realizada segundo a metodologia, três dias a 23°C para redução do diacetil e sete dias a 0°C para melhor clarificação da cerveja.

Na etapa de envase, calculou-se o volume de cerveja presente no fermentador, obtendo-se um volume final de 17 litros. O cálculo de açúcar utilizado para fazer o *primming* foi de 5,5g de açúcar refinado para 1 litro de cerveja produzida. Dessa forma, para 17L adicionou-se 93,5g de açúcar. Posteriormente, envasou-se a cerveja em garrafas de 300ml, como descrito na metodologia e aguardou-se sete dias para carbonatação da cerveja.

12.3.2 Cerveja de macaúba

Na etapa de brasagem, durante a os trinta minutos iniciais, quando se estabilizou a temperatura do mosto nos 68°C, realizou-se o teste do iodo. De acordo com o teste notou-se que ainda não havia ocorrido a conversão da maior parte do amido em açúcares fermentáveis. Seguiu-se com a brassagem normalmente. Passados vinte minutos, realizou-se novamente o teste do iodo, o resultado indicava que ainda existia amido que podia ser convertido em açúcar. Portanto, deu seguimento com o processo de mostura. Trinta minutos depois, com um novo teste de iodo, observou-se uma grande semelhança com o resultado obtido anteriormente.

Antes da fervura, mediu-se a densidade do mosto para saber a quantidade de sólidos (açúcar) dissolvidos no mosto e obteve-se 1060g/ml. Dessa forma, foi preciso corrigir a densidade adicionando água, pois, de acordo com o cálculo do *Software BeerSmith* a densidade final, antes da fermentação, deveria estar em torno de 1042g/ml. O *Beersmith* não considera os sólidos soluveis da torta da Macaúba e por isso obteve-se um OG mais encorpado. Posteriormente, passados 20 minutos realizou-se novamente o teste de iodo e este apresentou uma coloração mais clara indicando que houve eficiência da hidrolise do amido em açúcar fermentável. Realizou-se o *Mach Out* e depois a lavagem dos grãos como descritos. Porém, na água de lavagem calculou-se o volume necessário de água para se chegar a densidade de 1,042, como mostra a Equação 9:

$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2$

$1{,}060 \times 14L = 1{,}042 \times V_2$ (9)

$V_2 = 14{,}84L$

Após a lavagem do mosto, este foi transferido para panela de fervura, para isso, elevou-se a temperatura do mosto até que iniciar a fervura para a realização das etapas de lupulagem. No início da fervura adicionaram-se 19,20g de lúpulo *Perle* (lúpulo de amargor) e após os 60 minutos de fervura adicionou-se o lúpulo *Fuggles* (lúpulo de aroma). As próximas etapas, de filtração o do mosto, resfriamento e fermentação ocorreram conforme descritos na metodologia. A densidade medida antes da fermentação foi 1,052g/ml.

Após três dias de fermentação, mediu-se a densidade obtendo um valor de 1,032g/ml. Observou-se também que a cerveja apresentava um aspecto bem viscoso. Passados os 10 dias de fermentação, mediu-se novamente a densidade obtendo 1,032 g/ml. A geladeira durante a fermentação ficou desligada por 3 dias, devido a problemas elétricos, isto explica a ineficiência da fermentação, pois a densidade esperada ao final da fermentação seria 1,014g/ml. Estava em dias quentes e com a geladeira desligada, a fermentação não aconteceu na temperatura esperada e desta forma comprometeu a vitalidade das leveduras e o metabolismo de açucares, não ocorrendo a diminuição desta densidade. Observou-se também que a cerveja apresentava um aspecto bem viscoso. As medições das densidades ao longo do processo estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Densidades medidas ao longo do processo de produção.

Etapa	Densidade (g/ml)
Início da mosturação	1,060
Final da mosturação	1,042
Inicio da fermentação	1,052
Após três dias de fermentação	1,032
Após 10 dias de fermentação	1,032

Fonte: Acervo pessoal, (2019).

O cálculo de açúcar utilizado para fazer o *primming* foi de 5,5g de açúcar refinado para 1 litro de cerveja produzida. Dessa forma, para 13 litros adicionou-se 71,5g de açúcar. Posteriormente, envasou-se a cerveja em garrafas de 300ml, como descrito na metodologia e aguardou-se sete dias para carbonatação da cerveja.

12.4 Cálculo da unidade de amargor (IBU)

A partir do valor da densidade calcula-se a Unidade de Amargor (BU ou IBU). *International Bitterness Units scale* (IBU) é uma unidade de medida que caracteriza o amargor. Esta é uma norma mundialmente utilizada para diversas bebidas. 1 IBU = 1 mg de iso-alfa-ácido por litro (OTTEN BRAU, 2014).

O cálculo de amargor foi medido através do método de *Glenn Tinseth*, onde é realizado o cálculo através da Equação 10.

Onde temos:

$$IBU = \frac{Utilização\ de\ alfa\ ácidos\ x\ Alfa\ ácidos\ x\ lúpulo\ (mg)}{volume\ de\ cerveja\ final\ em\ litros} \qquad (10)$$

Utilização de Alfa Ácidos = Fator correspondente entre gravidade específica por tempo de fervura. Esse fator você encontra na tabela 15.

Alfa Ácidos = Porcentagem de alfa ácidos do lúpulo em decimais. Neste caso, se o lúpulo possui 12,5% de álfa ácidos, você colocará 0,125.

Lúpulo = peso do lúpulo em miligramas.

Volume final = Volume final de cerveja produzida.

Tabela 15. Utilização de alfa ácidos.

Tempo de Fervura	Gravidade Original / S.G										
(minutos)	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.100	1.110	1.120	1.130
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.034	0.031	0.029	0.026	0.024	0.022	0.020	0.018	0.017	0.015	0.014
6	0.065	0.059	0.054	0.049	0.045	0.041	0.038	0.035	0.032	0.029	0.026
9	0.092	0.084	0.077	0.070	0.064	0.059	0.054	0.049	0.045	0.041	0.037
12	0.116	0.106	0.097	0.088	0.081	0.074	0.068	0.062	0.056	0.052	0.047
15	0.137	0.125	0.114	0.105	0.096	0.087	0.080	0.073	0.067	0.061	0.056
18	0.156	0.142	0.130	0.119	0.109	0.099	0.091	0.083	0.076	0.069	0.063
21	0.173	0.158	0.144	0.132	0.120	0.110	0.101	0.092	0.084	0.077	0.070
24	0.187	0.171	0.157	0.143	0.131	0.120	0.109	0.100	0.091	0.083	0.076
27	0.201	0.183	0.168	0.153	0.140	0.128	0.117	0.107	0.098	0.089	0.082
30	0.212	0.194	0.177	0.162	0.148	0.135	0.124	0.113	0.103	0.094	0.086
33	0.223	0.203	0.186	0.170	0.155	0.142	0.130	0.119	0.108	0.099	0.091
36	0.232	0.212	0.194	0.177	0.162	0.148	0.135	0.124	0.113	0.103	0.094
39	0.240	0.219	0.200	0.183	0.167	0.153	0.140	0.128	0.117	0.107	0.098
42	0.247	0.226	0.206	0.189	0.172	0.158	0.144	0.132	0.120	0.110	0.101
45	0.253	0.232	0.212	0.194	0.177	0.162	0.148	0.135	0.123	0.113	0.103
48	0.259	0.237	0.216	0.198	0.181	0.165	0.151	0.138	0.126	0.115	0.105
51	0.264	0.241	0.221	0.202	0.184	0.169	0.154	0.141	0.129	0.118	0.108
54	0.269	0.246	0.224	0.205	0.188	0.171	0.157	0.143	0.131	0.120	0.109
57	0.273	0.249	0.228	0.208	0.190	0.174	0.159	0.145	0.133	0.121	0.111
60	0.276	0.252	0.231	0.211	0.193	0.176	0.161	0.147	0.135	0.123	0.112
70	0.285	0.261	0.238	0.218	0.199	0.182	0.166	0.152	0.139	0.127	0.116
80	0.291	0.266	0.243	0.222	0.203	0.186	0.170	0.155	0.142	0.130	0.119
90	0.295	0.270	0.247	0.226	0.206	0.188	0.172	0.157	0.144	0.132	0.120
120	0.301	0.275	0.252	0.230	0.210	0.192	0.176	0.161	0.147	0.134	0.123

Fonte: Blog Papo de Bar.

Para obter o valor do IBU, foi necessário fazer o cáculo duas vezes, uma para o lúpulo *Perle* e outro para o *Fuggles*. No entanto, o lúpulo *Fuggles* foi adicionado no final da fervura, sendo assim, tendo como tempo de fervura igual a zero. Com isso, pela tabela 16, o seu fator de utilização será zero independente da gravidade. Como ele é um lúpulo adicionado apenas para dar aroma, é natural que ele não interfira no amargor da cerveja.

Para o calculo do IBU, utilizando o lúpulo *Fuggles*, o ponto de gravidade (densidade original) – OG, obtido experimentalmente da cerveja puro malte foi de 1,044 (está entre os valores 1,040 e 1,050 da tabela 14) e da cerveja de macaúba a densidade original obtida foi 1,052 (está entre 1,050 e 1,060). Desta forma, foi necessário fazer a interpolação dos dados para se obter o fator de utilização para as duas cervejas.

O fator de utilização, observando o tempo de fervura de 60 minutos e a gravidade, segundo a tabela 15 e a interpolação dos dados está representado na tabela 16.

Tabela 16. Utilização de alfa ácidos obtida após interpolação dos dados da tabela 14.

Tipo de cerveja	Gravidade original	Utilização de alfa ácidos
Cerveja puro malte	1,044	0,243
Cerveja de macaúba	1,052	0,227

Fonte: Acervo pessoal, (2019).

Para o cálculo do IBU, tem-se os seguintes dados obtidos para cada cerveja fabricada apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Dados obtidos para realização do calculo do IBU.

Tipo de cerveja	Utilização de alfa ácidos	Peso do lúpulo (mg)	Unidade de alfa ácidos (*Perle*)	Volume produzido em litros
Puro malte	0,243	19200	0,081	17
Cerveja de macaúba	0,227	19200	0,081	13

$$\mathbf{IBU}_{\text{Puro malte}} = (0{,}243 \times 0{,}081 \times 19200) \div (17) = 22{,}28$$

$$\mathbf{IBU}_{\text{Cerveja de macaúba}} = (0{,}227 \times 0{,}081 \times 19200) \div (13) = 27{,}15$$

Para calcular a relação BU/GU utiliza-se o IBU e os dois últimos números da sua gravidade original. Sendo assim tem-se:

$BU/GU_{\text{Puro malte}} = 22,28/ 44 = 0,50.$

$BU/GU_{\text{Cerveja de macaúba}} = 27,15/ 52 = 0,52$

Segundo a receita produzida pelo software *Beer Smith*, para a cerveja puro malte esperava-se 20,1 de IBU e densidade original igual a 1,049 e para a cerveja de macaúba, esperava-se 20 IBU e 1,050 de densidade original. A relação BU/GU esperada seria 0,41 para cerveja puro malte e 0,40 para cerveja de macaúba. Valores que na teoria deveriam ser muito próximos já que as duas cervejas foram produzidas obedecendo aos mesmos parâmetros de fabricação. No entanto, as duas cervejas apresentaram teores de amargor maior que a cerveja original. Na cerveja de macaúba, obteve-se, obteve-se experimentalmente um teor de amargor maior que a cerveja pura malte.

Como o cálculo do IBU, não leva em consideração a matéria prima, não é possível saber até que ponto a utilização da torta de macaúba influenciou neste resultado. O volume final, por ter sido menor, apenas 13 litros, influenciou no cálculo obtendo-se um valor maior de IBU.

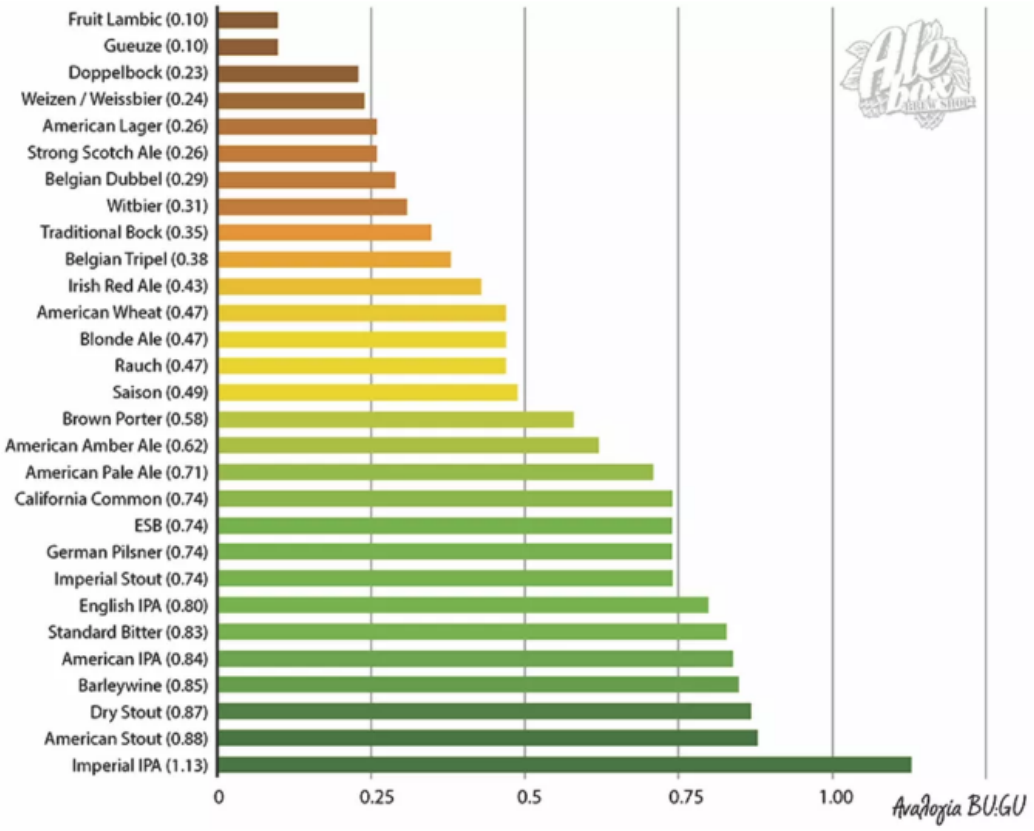
No entanto, vale ressaltar que o valor do IBU isoladamente não pode ser referência da percepção de amargor de uma cerveja, pois há diversos elementos que interferem na percepção sensorial da bebida. Dessa forma, a sensação de amargor ao se tomar uma cerveja pode não refletir o valor do IBU, pois existem diversos fatores que podem influenciar na experiência da degustação.

Além do dulçor do malte, fatores como o envelhecimento, os maltes torrados que conferem sensação de amargor, uso de adjuntos, o teor alcoólico e até a forma como o lúpulo foi adicionado na bebida influenciam nessa sensação. A sensação de amargor provém da combinação e do equilíbrio entre o malte e o lúpulo, isto que determina a sensação que a cerveja irá proporcionar a quem bebe: dulçor ou amargor.

Cervejas mais maltadas normalmente apresentam teor alcoólico mais elevado, assim como cores mais ecuras. Isso se deve às altas doses de açúcares que não foram fermentados e que geram o dulçor presente na cerveja e ao mesmo tempo podem apresentar IBU alto, sem apresentar muito amargor

Através do valor de BU/GU, pode-se verificar na figura 16, que possui valores de referência dessa relação para vários estilos de cerveja, se a cerveja produzida está com a relação adequada para o estilo (DINSLAKEN, 2016).

Figura 16. Relação BU/GU para vários estilos de cerveja.



Fonte: DINSLAKEN, (2016).

Pela analogia BU/GU a cerveja de macaúba e a cerveja puro malte encontram-se no estilo *Saison*, que foi o estilo de cerveja proposto na elaboração da receita pelo software *Beer Smith*. Este estilo de cerveja possui sabores frutados e codimentados, ligeiramente maltadas, coloração amarelo alaranjado, intensamente carbonatada, bem lupulada, seca e com certa acidez, que acaba com a sede. Colarinho de branco a marfim, denso e muito persistente, formando o característico "rendado belga" nas bordas do copo. A limpidez varia de baixa a boa, embora a turbidez não seja inesperada neste estilo de cerveja (BJCP, 2015).

Utilizando-se o valor da densidade inicial medida antes da fermentação e através da Equação 11 pode-se calcular o valor de grau Plato (°P). Por definição, grau Plato é uma medida utilizada para medir a concentração (em massa) de sacarose em uma solução de água e sacarose. Portanto, pode-se dizer que 1 °P equivale a 1% de toda a massa da solução que é composta por sacarose e os 99% restantes são a massa da água do mosto, considerando a massa total igual a 100%. Porem como existem diversas outras substancias no mosto que possuem diferentes massas

de sacarose. O resultado é apenas uma aproximação do valor da concentração dessas substâncias no mosto (ROSA, 2012).

$$P= 668,72 \times SG – 463,37- 205,35 \times SG^2 \qquad (11)$$

Onde,

$$\mathbf{P_{puro\ malte}}= 668,72 \times 1,044- 463,37- 205,35 \times 1,044^2= 10,96°P$$

$$\mathbf{P_{Cerveja\ de\ macaúba}}= 668,72 \times 1,052- 463,37- 205,35 \times 1,052^2= 12,85°P$$

O valor obtido pode ser utilizado para classificar a cerveja quanto ao extrato primitivo. Ou seja, de acordo com a legislação brasileira, a cerveja pura malte produzida é uma Cerveja comum devido ao fato de que 10,96°P (10,9%) está entre os valores de extrato primitivo de 10,5% e 12,5% em peso. A cerveja de macaúba produzida é uma Cerveja que se enquadra em extra devido ao fato de que 12,85°P (12,8%) está entre os valores de extrato primitivo de 12,5% e 14,0% em peso (Tabela 1).

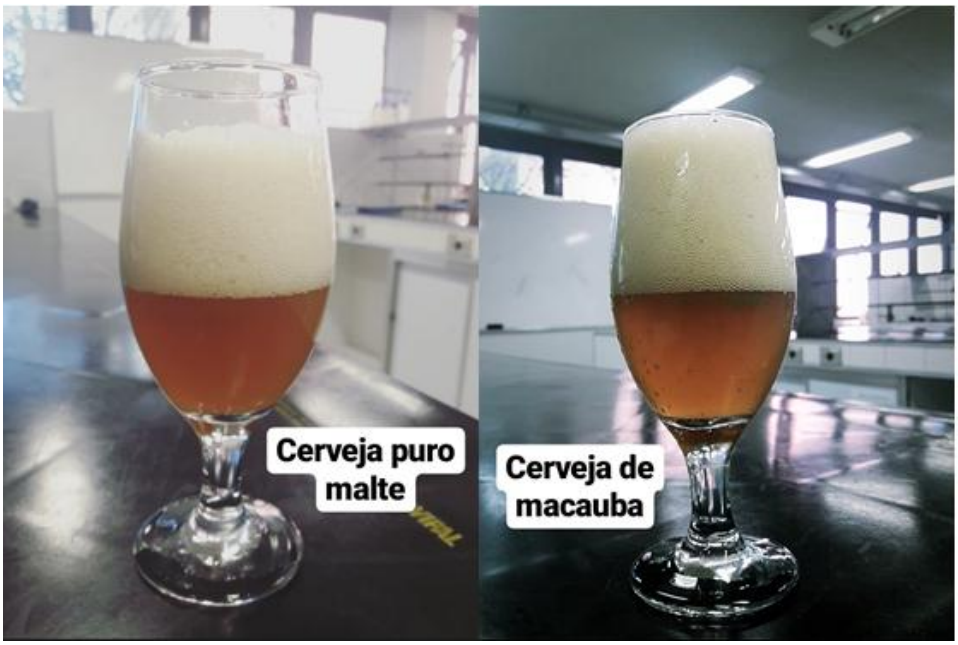
12.5 Resultados Análises Físico-químicas

Todos os resultados das análises físico-químicas realizados nas cervejas artesanais produzidas, já carbonatadas, são apresentados nos tópicos a seguir.

12.5.1 Análise organoléptica

O exame organoléptico foi realizado na cerveja puro malte e na cerveja de macaúba. (Figura 17).

Figura 17. Cerveja puro malte e cerveja de macaúba.



Fonte: Acervo pessoal, 2019

Tabela 18. Resultado obtido do exame organoléptico das cervejas produzidas.

ANÁLISE	NORMAL	ANORMAL	PURO MALTE	MACAÚBA
Aspecto- ausência de elementos estranhos	X			
Coloração – característica com a origem dos componentes da matéria prima	X		Coloração cobreada muito bonita.	Coloração muito parecida da puro malte
Limpidez – ausência de corpos estranhos, depositados e/ou turvações	X			
Vazamentos – o recipiente não deve apresentar vazamento	X			
Estufamento – (gases) estado da embalagem	X			
Outros aspectos relevantes à embalagem e da aparência	X		Mesmo não apresentando rótulo a parte externa da garrafa apresenta-se em boas condições.	Mesmo não apresentando rótulo a parte externa da garrafa apresenta-se em boas condições
Imediatamente – o odor, a aparência e a presença de gases (anormais)	X		O odor característico e muito agradável.	odor diferente, um pouco mais caramelada/adocicada, odor remete a macaúba.
Por degustação – sensação na boca e possível alteração de sabor	X		Muito saborosa, amargor leve, baixa viscosidade.	Muito saborosa, amargor leve, porém considerou mais encorpada (viscosa) ao que está acostumado

No exame foram levadas em considerações as observações realizadas pelo avaliador que o resultado apresentado fosse “normal”. Os resultados estão descritos na Tabela 18.

A cerveja elaborada apresentou um resultado normal no exame organoléptico, no entanto, apresentou elevada viscosidade, mais encorpada ao que está acostumado. Uma cerveja encorpada seria aquela que oferece a sensação de preenchimento maior, mais licorosa. Enfim, parece mais densa, com uma carga maior de açúcares e proteínas na sua versão final. Comparada a cerveja puro malte produzida, a cerveja de macaúba apresentou-se um exame organoléptico parecido na cor, espuma, amargor, porém apresentou-se mais viscosa.

Vários fatores podem criar a sensação tátil que é chamada de "corpo" na cerveja. A densidade original, que é uma medida da quantidade de partículas no líquido, pode dar uma sensação de um líquido mais grosso ou aguado. Isto pode estar associado à quantidade de açúcares que não foram fermentados e convertidos em álcool da cerveja. Quanto mais doce a cerveja, geralmente será mais encorpada. Quanto mais seca, mais leve é o corpo. Dessa forma, a densidade original maior na cerveja de macaúba e devido ao fato de a fermentação não ter sido tão eficiente, isso pode ter gerado maior quantidade de açucares na cerveja, ocasionando maior "corpo".

Em relação a textura também, observa-se ela mais oleosa, mais "escorregadia", uma sensação tátil sedosa. Essa sensação de "licorosidade", normalmente está associada a uma alta densidade final (açucares).

Essa viscosidade presente na cerveja produzida pode ter sido causada pelo uso da torta de macaúba. Em teoria, os açúcares, proteínas e óleo residual presente nesta torta podem ter gerado esta alta viscosidade e corpo para cerveja. No entanto, é necessário um estudo mais aprofundado para comprovar esta teoria.

12.5.2 Análise de Sólidos Totais

Após desidratação total das amostras, obtiveram-se valores de massa do extrato em triplicata. Calculou-se a média dos valores, obtendo-se o resultado igual a 0,28 g de massa do extrato presente na cerveja puro malte e 0,49g de massa do extrato presentes na cerveja de macaúba. Calculou-se a quantidade das massas do extrato e realizou-se o cálculo para obtenção da quantidade de sólidos totais através da equação 12, obtendo um valor de 2.8g/100mL para cerveja puro malte e 4,9 g/100mL para cerveja de macaúba. Os resultados estão relacionados na Tabela 19 e 20.

Tabela 19- Relação dos resultados obtidos para análises dos sólidos totais da cerveja puro malte.

	Cadinho 1	Cadinho II	Cadinho III	Média de massa do extrato	Sólidos totais (%)
Peso sem amostra (g)	33,88	37,96	39,53		
Peso amostra seca (g)	34,16	38,24	39,82	0,28	2,8
Massa do extrato (g)	0,28	0,28	0,29		

Tabela 20. Relação dos resultados obtidos para análises dos sólidos totais da cerveja de macaúba.

	Cadinho 1	Cadinho II	Cadinho III	Média de massa do extrato	Sólidos totais (%)
Peso sem amostra (g)	36,16	38,71	42,32		
Peso amostra seca (g)	36,65	39,24	42,80	0,49	4,9
Massa do extrato (g)	0,49	0,50	0,48		

A quantidade de sólidos totais é utilizada para quantificar a massa resultante após a evaporação de todos os compostos voláteis da amostra. Em cervejas, os valores de extrato seco (sólidos totais) devem estar entre 2,0% e 7,0%, sendo valores acima de 3,0% como determinantes para uma boa qualidade da cerveja. Nesse aspecto, as duas cervejas produzidas estão de acordo com os valores padrões. Entretanto, a cerveja de macaúba obteve um resultado mais satisfatório, por apresentar valor acima de 3%, o que permite determina-la como uma cerveja de melhor qualidade.

12.5.3 Acidez Total ou Titulável

A Tabela 21 e 22 relaciona os volumes titulados e os pH’s iniciais e finais das amostras de cervejas que foram utilizadas para as análises de acidez total ou titulável. A partir desses dados da tabela e através da a Equação 3 (considerando é a normalidade da solução de hidróxido de sódio), obtém-se a acidez volátil de cada amostra.

Tabela 21. Dados dos volumes gastos na análise de acidez total ou titulável na cerveja puro malte.

Amostra	$pH_{inicial}$	pH_{final}	Volume NaOH 0,1M (mL)	Acidez volátil (meq/L)	Média da acidez volátil (meq/L)
I	4,42	8,12	4,2	42	
II	4,41	8,13	4,2	42	42
III	4,32	8,00	4,2	42	

Tabela 22. Dados dos volumes gastos na análise de acidez total ou titulável na cerveja de macaúba.

Amostra	$pH_{inicial}$	pH_{final}	Volume NaOH 0,1M (mL)	Acidez volátil (meq/L)	Média da acidez volátil (meq/L)
I	4,32	8,13	5,0	50	
II	4,21	8,21	4,5	45	49
III	4,21	8,10	5,2	52	

A acidez total pode ser indicativa de uma contaminação bacteriana da cerveja, mas não é um teste específico para este tipo de análise. Algumas cervejas, quando contaminadas por micro-organismos, apresentam elevação da acidez, porém fatores como matéria prima utilizada e a falta de higienização na etapa de produção podem também elevar o valor da acidez total. Não existe um valor padrão para acidez total em cervejas, considerando esse como um teste coadjuvante nas análises físico-químicas com propósito de caracteriza-las perante sua acidez (TAYLOR, 2015).

As amostras analisadas apresentaram valor de acidez total diferentes entre si, tendo as amostras da cerveja de macaúba como mais ácida do que a cerveja puro malte. A cerveja de macaúba por levar torta de macaúba em sua composição, pode ter sido um fator importante para o aumento da acidez total.

12.5.4 Cor

As Tabelas 23 e 24 apresenta os resultados das análises de cor realizadas em triplicata para cerveja puro malte e cerveja de macaúba.

Tabela 23. Análise de cor de amostras, conforme metodologia ASBC Beer 10-A, da cerveja puro malte.

Amostra	1º leitura (430nm)	SRM	SRM médio
I	0,090	11,43	
II	0,093	11,81	11,68
III	0,093	11,81	

Tabela 24. Análise de cor de amostras, conforme metodologia ASBC Beer 10-A, da cerveja de macaúba.

Amostra	1º leitura (430nm)	SRM	SRM médio
I	0,090	11,43	
II	0,095	12,06	11,76
III	0,093	11,81	

O valor do SRM médio obtido para cerveja puro malte foi de 11,68 e para cerveja de macaúba foi de 11,76, o que está no limite da faixa estabelecida para o estilo -5 a 14 SRM.

O aumento nos teores de extrato primitivo eleva a intensidade de cor nas cervejas, reflexo do ocorrido no mosto da cerveja de macaúba em função do seu enriquecimento em compostos fenólicos e outras matérias corantes, provenientes da torta de macaúba. Os compostos responsáveis pela coloração do mosto e consequentemente da cerveja fazem parte do extrato, sendo que os compostos fenólicos estão entre os mais importantes (BRIGGS *et al.*, 2004).

Pela legislação brasileira, o valor experimental obtido enquadrou-se a cerveja puro malte e a cerveja de macaúba em coloração cobre claro, o que foi corroborado pela inspeção visual.

12.5.5 Densidade

A densidade final da cerveja foi obtida a partir da leitura do valor lido no densímetro manual. O valor obtido foi 1,010 g/mL para cerveja puro malte e1,028 g/mL para cerveja de macaúba. A cerveja puro malte foi a que mais se aproximou da densidade ideal para uma *Saison.* Segundo o BJCP o ideal para o estilo é que a densidade esteja entre 1,018 a 1,030 g/mL, sendo o

ideal para a receita uma densidade final de 1,018 g/mL. Desta forma, a cerveja de macaúba foi a que mais se enquadrou no estilo.

Nota-se que uma diminuição da densidade em ambas as cervejas após a carbonatação, isso se deve pelo fato de as cervejas não serem filtradas e por isso ainda as leveduras restantes consumiram os açucares presentes reduzindo a densidade da cerveja. O menor valor de densidade final na cerveja puro malte demostra que o consumo de açúcar fermentável pelas leveduras foi mais eficiente, ocasionando a produção de uma cerveja menos adocicada e consequentemente com teor alcoólico mais elevado.

12.5.6 pH

As três medições de pH das amostras de cerveja puro malte e da cerveja de macaúba e a média aritmética das leituras estão ilustradas na tabela 25 e 26.

Tabela 25. Média aritmética das leituras de pH das amostras da cerveja puro malte.

Amostra	pH
1	4,30
2	4,43
3	4,41
Média	4,27

Tabela 26. Média aritmética das leituras de pH das amostras da cerveja de macaúba.

Amostra	pH
1	4,18
2	4,13
3	4,21
Média	4,17

Geralmente a cerveja é considerada um produto ácido, onde os valores aceitáveis de pH encontram-se entre 4-5 (ALMEIDA e BELO, 2017). Nas análises realizadas identificou-se que todas as amostras se encontram dentro das normas de regularização, variando entre 4 e 5.

O pH da cerveja sofreu interferência da torta de macaúba, pois observou-se que a cerveja de macaúba apresentou menor pH e maior acidez total comparado a cerveja puro malte. Como os valores de pH devem apresentar uma relação inversa aos de acidez total, esses resultados são relevantes.

As amostras de ambas as cervejas apresentaram um pH menor que 4,5, sendo de enorme importância, pois mantem livre de microorganismos patogênicos, principalmente o *Clostridium botulinum* ,bactéria que causa o botulismo, e evita posteriores contaminações (HOFFMANN, 2011).

12.5.7 Cinzas

Os valores obtidos das massas na análise de teor de cinza das amostras da cerveja puros malte e da cerveja de macaúba estão relacionados nas Tabelas 27 e 28.

Tabela 27. Dados das massas pesadas na análise de cinzas da cerveja puro malte

	Cadinho I	Cadinho II	Cadinho III	Média de cinzas
Peso sem amostra (g)	42,19	36,03	38,58	
Peso com amostra (g)	42,21	36,06	38,60	0,02
Cinzas da amostra (g)	0,02	0,03	0,02	

Tabela 28. Dados das massas pesadas na análise de cinzas da cerveja de macaúba

	Cadinho I	Cadinho II	Cadinho III	Média de cinzas
Peso sem amostra (g)	33,75	37,83	39,39	
Peso com amostra (g)	33,79	37,86	39,42	0,03
Cinzas da amostra (g)	0,04	0,03	0,03	

A partir dos dados calculou-se o a concentração de cinzas em gramas por litro através da equação (7), obtendo 2 g/L de cinzas na cerveja puro malte e 3g/L na cerveja de macaúba.

A cerveja de macaúba apresentou maior teor de cinzas. Comportamento esperado, pois segundo Verediano (2012), torta de macaúba é constituída de 4,4% de cinzas e o malte é constituído por 1,97%. Os teores de cinzas nas cervejas fortes foram mais elevados em função da maior riqueza de extratos (açucares, minerais, etc).

12.5.8 Teor alcoólico

O teor alcoólico das cervejas artesanais produzidas foi obtidos após a etapa de carbonação que ocorreu com realização do *primming*. Para o cálculo utilizou-se a Equação 6.

A densidade inicial de 1,044 e a densidade final de 1,010 g/mL da cerveja puro malte obteve-se um teor alcoólico de 4,45 %(v/v). Este valor permite enquadra-la de acordo com a

legislação brasileira como uma cerveja de médio teor alcoólico, devido ao fato de estar na faixa de 2 a 4,5 % de álcool.

A cerveja de macaúba apresentou densidade inicial de 1,052 e densidade final de 1,028 g/mL, resultando em um teor alcoólico de 3,14%(v/v) que também se encontra dentro da faixa de cervejas de médio teor alcoólico.

No entanto, segundo o BJCP, para que a cerveja esteja nos parâmetros de uma *Saison*, as mesmas deveriam apresentar teores alcoólicos entre 5 a 7% (v/v). Esperava-se que a cerveja de macaúba apresentasse maior teor alcoólico comparado a cerveja puro malte, devido ao seu maior teor de extrato primitivo, isto é, maior concentração de açucares, porém devido a problemas no processo de produção, a fermentação não foi totalmente eficiente e esses açucares não foram consumidos pelas leveduras adequadamente. Com isso, resultou-se em uma cerveja final menos alcoólica e mais adocicada.

13 PROPOSIÇÃO DO MODELO FUZZY DE APOIO À DECISÃO SOBRE A INSPEÇÃO DA QUALIDADE DAS CERVEJAS PRODUZIDAS

Existem vários fatores que influenciam na qualidade final das cervejas artesanais. Para que a cerveja final produzida seja de qualidade é necessário que avaliar uma série de parâmetros determinantes para o controle da cerveja e estes parâmetros devem estar de acordo com a proposta inicial da produção. Entre os parâmetros, destacam-se a densidade, o teor alcoólico, cor e pH. Além disso, para que a cerveja produzida obtenha a classificação desejada, ela deve seguir o padrão do *Beer Judge Certification Program* (BJCP) no qual uma série de critérios são avaliados para classificar as cervejas segundos diversos estilos.

Segundo BJCP, para que uma cerveja seja classificada no estilo *Saison*, ela deve estar de acordo com os parâmetros apresentados na Tabela 29.

Tabela 29. Parâmetros Físico-químicos para classificar a cervejas no estilo *Saison*.

Densidade final (g/l)	**1,018 até 1,030**
pH	4 até 5
Cor (SRM)	5 até 14
Teor alcoólico %(v/v)	5 até 7

Geralmente a cerveja é considerada um produto ácido, onde os valores aceitáveis de pH encontram-se entre 4-5 (ALMEIDA e BELO, 2017). No entanto, o ideal é que as cervejas apresentem um pH menor que 4,5, sendo de enorme importância, pois mantem livre de microorganismos patogênicos, principalmente o *Clostridium botulinum*, bactéria que causa o botulismo, e evita posteriores contaminações (HOFFMANN, 2011).

Segundo o BJCP, para que a cerveja esteja nos parâmetros de uma *Saison*, as mesmas deveriam apresentar teores alcoólicos entre 5 a 7% (v/v).

Para que a cerveja seja classificada dentro do estilo *Saison* é necessário que a densidade esteja entre 1,018 a 1,030 g/mL, sendo o ideal para a receita uma densidade final de 1,018 g/mL.

Para que a cor da cerveja esteja dentro da classificação *Saison*, o limite da faixa estabelecia para este estilo foi 5 a 14 SRM. Sendo o ideal para a receita de 10 a 12 SRM, classificando-as em cobre claro.

A Tabela 30 apresenta os resultados das análises físico-químicas obtidos experimentalmente para cerveja puro malte e de macaúba.

Tabela 30. Resultados das análises físico-químicas obtidos experimentalmente para cerveja puro malte e de macaúba.

	Cerveja puro malte	**Cerveja de macauba**	**Parâmetros ideais para o estilo *Saison***
Densidade final (g/ml)	1,010	1,028	1,018 à 1,030
pH	4,27	4,17	4 à 5
Cor (SRM)	11,68	11,76	5 à 14
Teor alcoólico	4,45	3,14	5 à 7

No intuito de avaliar/classificar as cervejas produzidas no estilo Saison, o presente estudo teve como objetivo também desenvolver um modelo de apoio à decisão em incerteza, utilizando lógica fuzzy, considerando as variações nas distintas faixas de especificações de 04 parâmetros físico-químicos descritos na Tabela 29 obtidos pelo BJCP.

A algoritmo Fuzzy foi desenvolvido no Software livre Scilab® utilizando o toolbox Fuzzy v.4.6. A Figuras 18 ilustra as Funções de Pertinência para cada um dos parâmetros físico-químicos estudados, aqui ditos como variáveis linguísticas de entrada do sistema Fuzzy. A Figura 19 ilustra a função de pertinência de saída do sistema Fuzzy, tendo como resposta a qualidade da cerveja.

As variáveis de Entrada, como descritas anteriormente foram: Densidade (composta por duas funções de pertinências: *Ideal* e *Ruim*), pH (composta por três funções de pertinências: *Baixo*,

Ideal e *Alto*), Cor (composta por três funções de pertinências*: Clara*, *Cobre* e *Escura*) e Teor Alcóolico (composta por três funções de pertinências: *Baixo*, *Ideal* e *Alto*). A variável de saída do sistema de inferência fuzzy, denominada Qualidade da cerveja, é composta por três funções de pertinências, a saber: reprovada, aprovado com alterações e aprovado.

Figura 18. Funções de Pertinência para as variáveis de entrada o apoio de decisão fuzzy para qualidade da cerveja: (a) Densidade; (b) pH; (c) Cor e (d) Teor Alcólico.

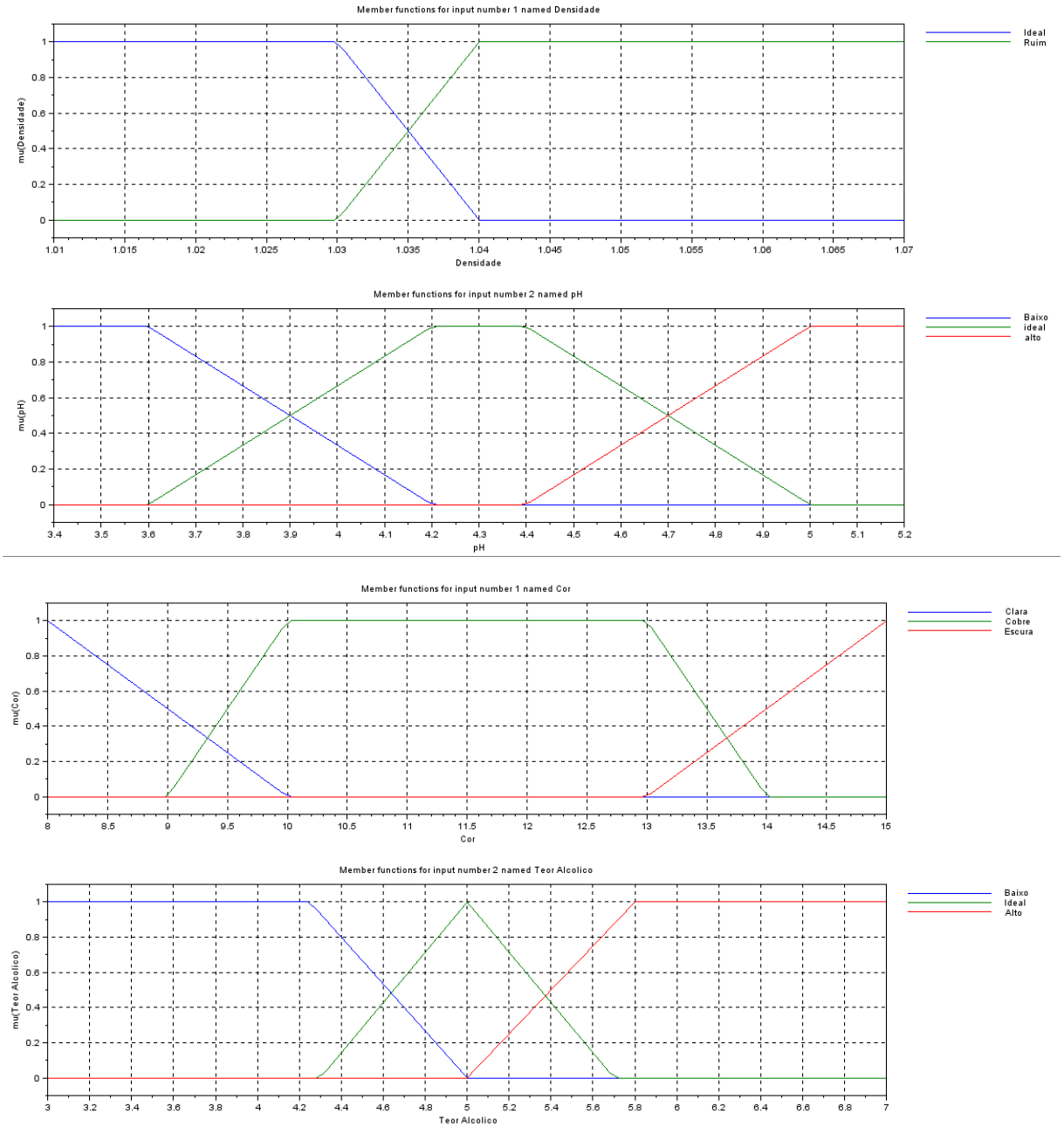
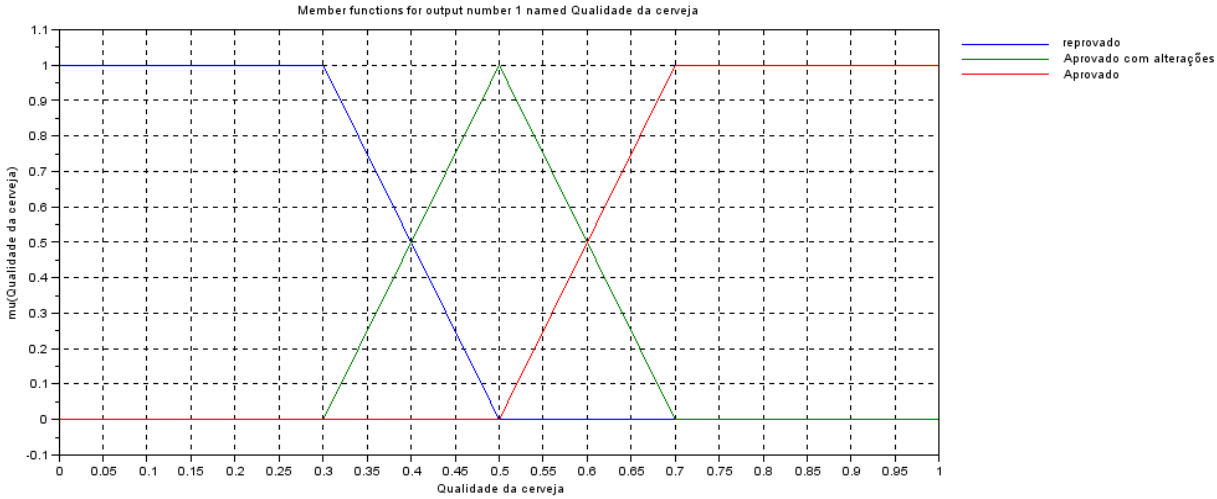


Figura 19. Funções de Pertinência para a variável de saída Qualidade da cerveja



As bases de regras Fuzzy estão descritas na Tabela 31 e estas foram descritas de acordo com o conhecimento do especialista na área, num total de 7 regras. Para que a cerveja seja aprovada, todos os parâmetros em estudo precisam estar próximos aos ideais, e desta forma, pode se observar na Tabela de regras que somente uma regra considera a qualidade da cerveja *aprovada* (Regra 1). Algumas outras características dos parâmetros estudados levam a ter um resultado como a qualidade da cerveja *aprovado com alteração* (Regras 2, 3, 4, 5, 6). Isto implicada que algum parâmetro não está de acordo com o objetivo/ideal, mas que o produto final não será descartado. Nos demais casos, a qualidade da cerveja entra como resultado *reprovada.*

Deste modo, os limites do estilo permitem que ela varie de clara a cobre.

Se a Densidade for ruim, ela será reprovada mesmo se os outros parâmetros forem bons, porque a densidade é o principal fator, ou seja, se a densidade for muito alta no final, significa que ela não fermentou, ou seja, os açucares não foram consumidos pelas leveduras e transformados em álcool e CO_2, e consequentemente ela não terá álcool, são fatores que estão diretamente relacionados. Quanto maior a densidade final pior será a cerveja.

O pH não pode apresentar valores muito baixo e nem muito alto, ou seja, tem que estar entre 4 e 5 pois caso contrário, será reprovada. Valores elevados ou muito baixos de pH podem indicar problemas no processo de fermentação e maturação e ainda causar sensação desagradável ao paladar.

O Teor Alcoólico ideal é em torno de 4,5 %, sendo que valores entre 4,3% a 5,2% considerados dentro do padrão de qualidade.

Tabela 31. Regras Fuzzy do sistema de inferência fuzzy desenvolvido para a aferição da qualidade de uma cerveja artesanal.

Regras	SE	Densidade	pH	Cor	Teor Alcoólico	ENTÃO	QUALIDADE DA CERVEJA
1.		**Ideal**	**Ideal**	**Cobre**	**Ideal**		**Aprovada**
2.		Ideal	Ideal	Clara	Baixo		Aprovada com alterações
3.		Ideal	Ideal	Clara	Ideal		Aprovada com alterações
4.		Ideal	Ideal	Cobre	Baixo		Aprovada com alterações
5.		Ideal	Ideal	Cobre	Alto		Aprovada com alterações
6.		Ideal	Ideal	Clara	Alto		Aprovada com alterações
7.		Não é Ideal	Não é Ideal	Não é Cobre	Não é Ideal		reprovado

Deste modo, as Figuras 18 a 19 ilustram os resultados obtidos realizando as simulações no Sicilab®, toolbox fuzzy v.4.6.

A Figura 20 ilustra os resultados obtidos levando em consideração as variáveis Densidade e pH. Pode se observar que valores diferentes dos considerados ideais para pH, independente dos valores de Densidade, a cerveja será *reprovada*, com um resultado numérico para a qualidade da cerveja de 0,15 (observe a Figura 19). Este entra numa possibilidade de aprovada com alteração se o pH estiver dentro do ideal, ou seja, valores entre 4 e 4.8.

A Figura 21 ilustra os resultados obtidos quando considerados os parâmetros Densidade e Cor. É possível observar que para Densidades acima de 1.04 a cerveja é considerada *reprovada* e que a variável Cor não influenciou muito o resultado, chegando a um resultado numérico de defuzzyficação em torno de 0,4 independente da faixa que varia de 8 a 15.

Entretanto, analisando a Figura 22 que ilustra os resultados para as variáveis Densidade e Teor Alcóolico, pode se observar que a qualidade da cerveja será considerada *aprovada* (grau de pertinência de defuzzyficação de 0.8) quando os valores de densidade forem menores que 1.04 e o valor do Teor Alcoólico estiver dentro do ideal, ou seja, entre 5 a 6%. Se o

Teor Alcoólico estiver fora desta faixa destacada, a cerveja será considerada *aprovada com alteração.*

Figura 20. Densidade vs pH

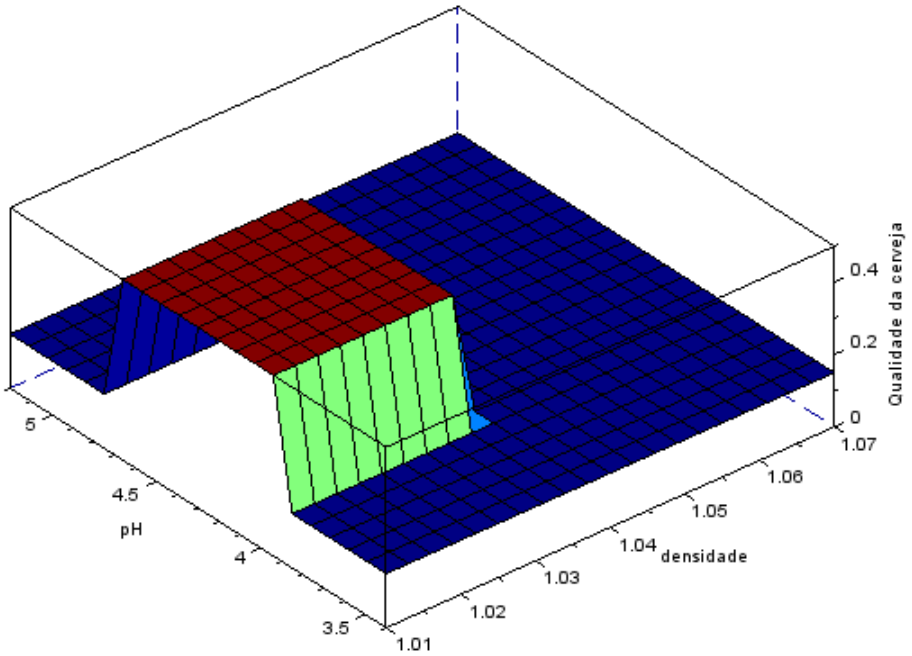


Figura 21. Densidade vs Cor

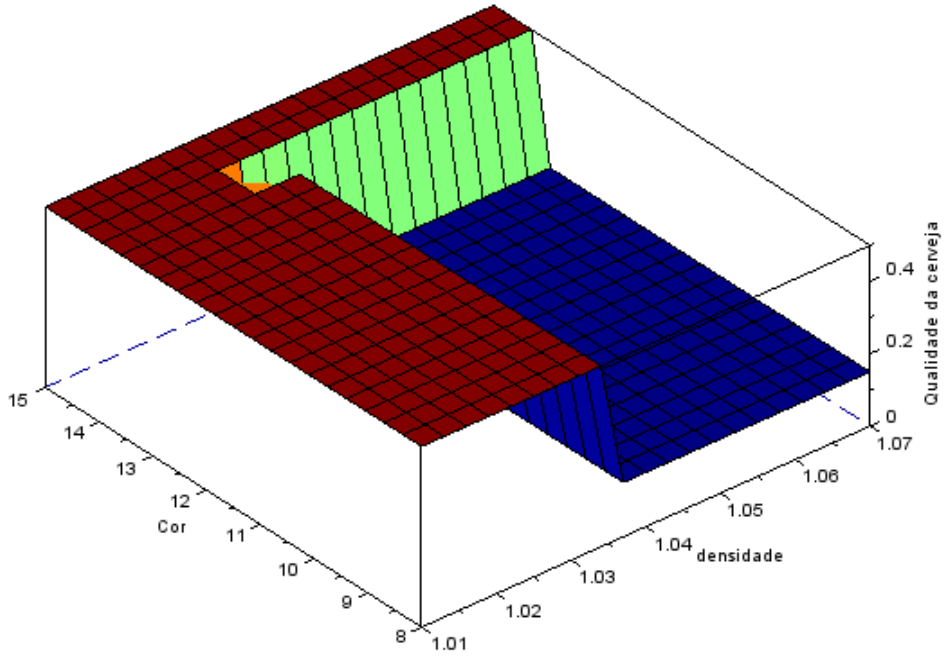
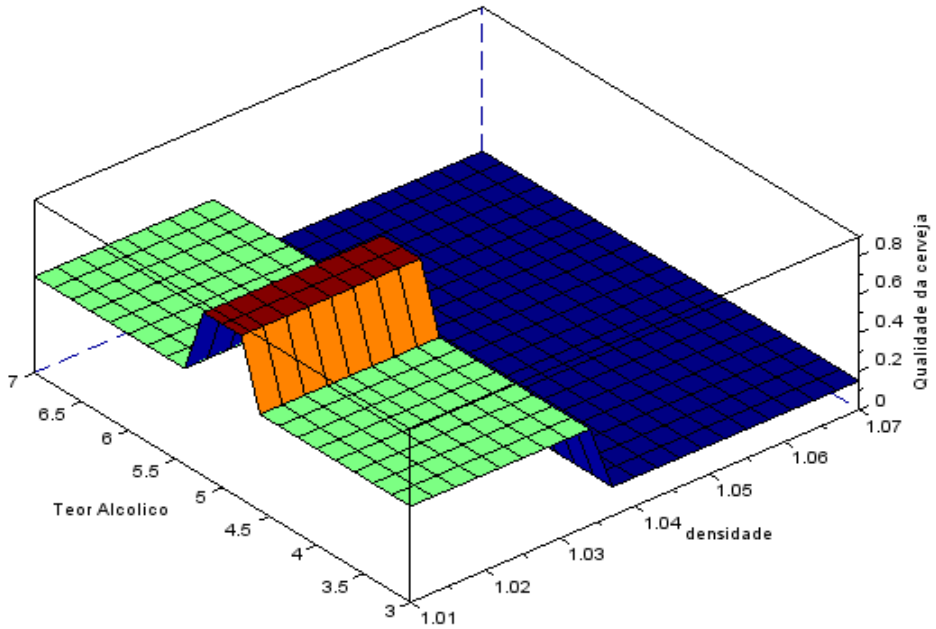
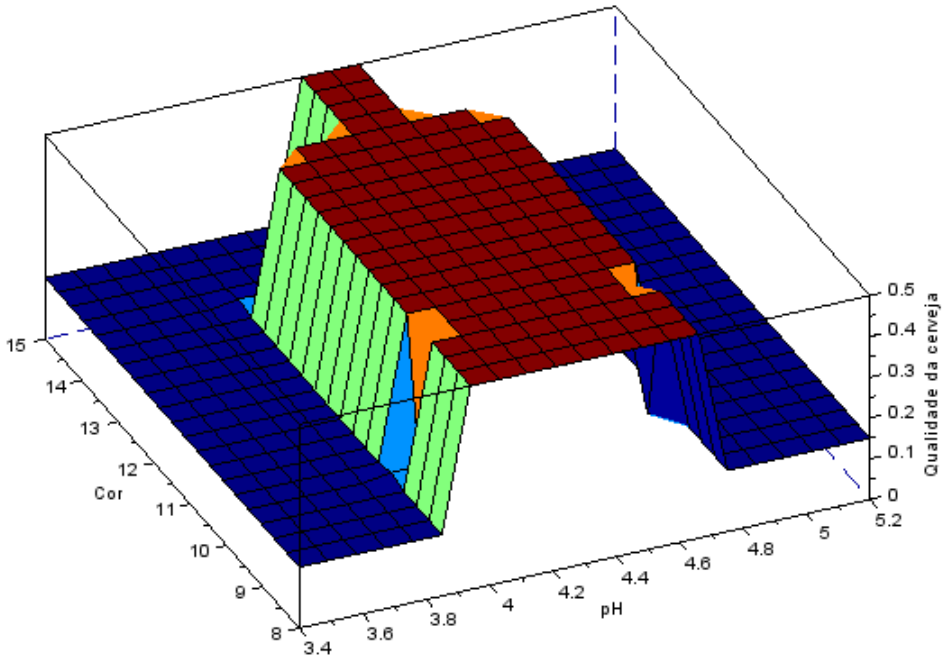


Figura 22. Densidade vs TA



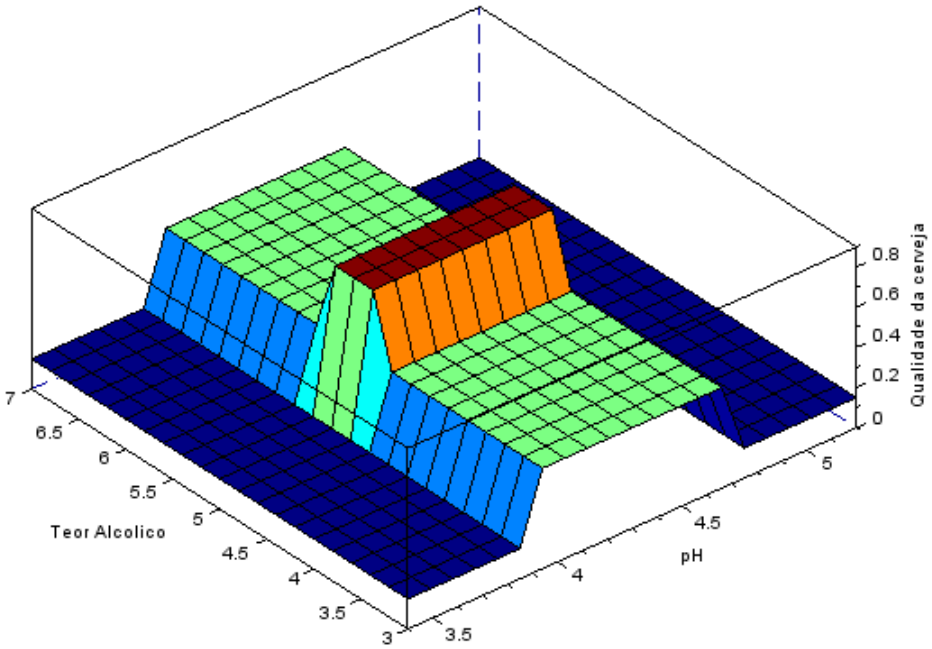
A Figura 23 ilustra os resultados de pH vs Cor. Dentre os resultados obtidos a variável Cor não presentaram novamente uma variável importante, pelas regras fuzzy, se comparado com o pH. A cerverja entrará na qualidade de *aprovada com alteração* se o pH estiver no ideal (entre 4 a 4.8), caso contrário, a cerveja será considerada *reprovada*.

Figura 23. Cor vs pH



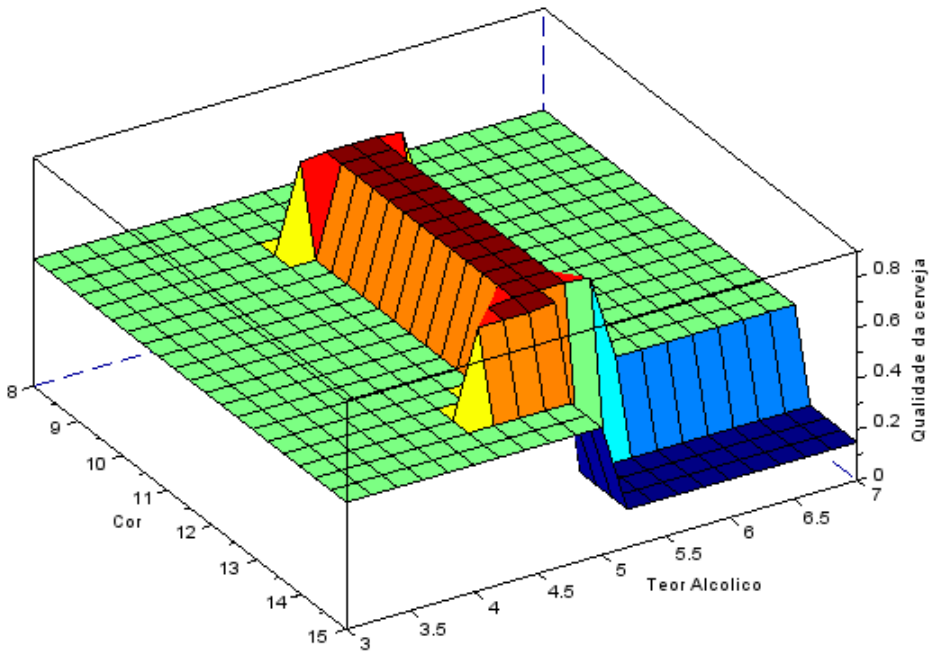
A Figura 24 ilustra os resultados obtidos com os parâmetros pH e Teor Alcoólico. Através das regras fuzzy descritas, pode se observar que a qualidade da cerveja será considerada *aprovada* somente quando o valor do pH e o Teor Alcoólico estiverem dentro da faixa do ideal, valores de 4 a 4.8 e 5 a 6%, respectivamente. Para valores de Teor Alcoólico fora da baixa relatada, mas pH dentro da faixa de ideal, a cerveja será considerada como *aprovada com alteração.*

Figura 24. pH VS TA



A Figura 25 ilustra os resultados obtidos utilizando como variáveis de entrada a Cor e o Teor Alcóolico. Pode-se observar que quase que pelas faixas destacadas a cerveja será considerada aprovada com alteração, exceto quando a cor for considerada *escura* e para *altos* valores de Teor alcóolico. Levando em consideração estes dois parâmetros, a cerveja será considerada aprovada se o Teor Alcoólico estiver dentro da faixa do ideal.

Figura 25. Cor VS TA



14 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de cerveja não é um processo simples, mas com o tempo as tecnologias vão se inovando e melhorando os processos e a qualidade da bebida. Existem diversos parâmetros a serem controlados no processo de produção e analise de qualidade e elas vão sendo inovadas para facilitar o processo, identificar falhas e fraudes.

Mediante todas as análises realizadas e comparadas durante este trabalho foi verificado resultados satisfatórios na extração da torta, obtendo uma torta com baixo teor de lipídeos, mostrando-se apta para a produção de cerveja.

A produção das cervejas obteve resultados próximos ao esperado pela receita, ou seja, tanto a cerveja puro malte e a cerveja de macaúba ficaram classificadas dentro do estilo *Saison* de acordo com o Guia de Estilos BJCP 2015. No entanto, a cerveja de macaúba apresentou menor teor alcoólico, 3,14% (v/v), fora dos limites ideais para a cerveja *Saison* que estão entre 5 a 7% (v/v).

Os resultados das análises demonstraram que a produção de cerveja puro malte e a especial utilizando a torta de macaúba como adjunto de malte em escala laboratorial apresentaram características físico-químicas de acordo com a legislação vigente.

Em comparação a cerveja puro malte, a cerveja de macaúba apresentou maior “licorosidade”, ou seja, apresentou-se mais encorpada ao que está acostumado. Isto pode estar associado a maior densidade final obtida, ou seja, devido a problemas na fermentação uma quantidade de açucares não foi fermentada, gerando uma cerveja mais encorpada, mais adocicada e menos alcoólica.

A proposta do estudo consistiu no desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão, com base na lógica fuzzy. Pode-se concluir, por meio da pesquisa realizada, que é possível utilizar a lógica fuzzy como sistema complementar de apoio à decisão para o controle de qualidade da cerveja. Embora se reconheçam os ganhos provenientes da automação da decisão, o sistema de inferência fuzzy criado dever ser utilizado em conjunto com as análises físico-químicas e, se possível sensorial, que continuam sendo relevantes.

Todas as pesquisas e análises desenvolvidas neste trabalho foram de enorme importância, pois serve de base a ser seguido em produção e analises de cervejas, mostrando que os objetivos foram alcançados, pois os resultados representaram a veracidade entre o experimento e os valores pré-estabelecidos em literatura.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. H. C; VIEIRA, A. S; AGUIAR. H. F; CHAVES, J. F. N; NEVERS, R. M. P. S; MIRANDA, T. L. S; SALUM, A. Óleo do fruto da palmeira macaúba: parte II: Processo de extração do óleo- I TECNIQ. Belo Horizonte: 2006.

AIZEMBERG, R. **Emprego do caldo de cana e do melado como adjunto de malte de cevada na produção de cervejas**. Tese de Doutorado. Escola de engenharia de Lorena, Lorena, São Paulo, 2015.

ALMEIDA, D. S. de; BELO, R. F. C. **Análise físico-química de cervejas artesanais e industriais comercializadas em Sete Lagoas** – MG. Faculdade Ciências da Vida – FCV. 2017. Disponível em: jornal.faculdadecienciasdavida.com.br/index.php/RBCV/article/download/362/232 Acesso em: outubro de 2018.

AQUARONE, E.; LIMA, U.A.; SCHMIDELL, W. Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos, vol. 3. São Paulo, Edgard Blücher, 2001.

BONACCORSI, M. M. **Guia de Estilos- BJCP**. 2016.

BORGES, P. F. O. **Concentração do mercado de cerveja no Brasil e a participação das microcervejarias.** Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.uff.br/jspui/bitstream/1/742/1/TCC - Pedro Felipe.pdf>. Acesso em: 19/10/2018.

BERBERT, S. Conheça a produção de lúpulo brasileiro. Globorural, 2017. Disponível em < https://revistagloborural.globo.com/noticias/agricultura/noticia/2017/02/conheca-producao-de-lupulo-brasileiro.html> Acesso em: 22/09 2018.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R**. Malts, adjuncts and supplementary enzymes. Brewing: Science and Practice.** Cambridge: Woodhead Publishing, 2004.

CARDOSO, O. R. **Produtores de cerveja dos EUA apostam em agricultura sustentável**. 2016. Disponível EM: < http://geprom.blogspot.com.br/2013_09_01_archive.html>. Acesso em: PAPO DE BAR. A cerveja e seus estilos. Disponivel em:< https://www.papodebar.com/a-cerveja-e-seus-tipos/>. Acesso em: 19/09/2018

CARVALHO, L.G. **Dossiê Técnico: Produção de Cerveja**. Rio de Janeiro, REDETEC Rede Tecnoló- gica do Rio de Janeiro, 2007.

CASTRO, O. M**. Obtenção de cerveja super concentrada com a utilização de xarope de milho como adjunto de malte**. Dissertação (Mestrado)- Curso de Mestre em Ciências do Programa de Pós Graduação em Biotecnologia Industrial, Escola de engenharia de Lorena- Universidade de São Paulo, Lorena – SP, 2014.

CERVBRASIL. **Associação Brasileira da Indústria da cerveja- Anuário**, 2015.

CRUZ.I.*et al*. **Produção de cerveja**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Quimica e Engenharia de Alimentos. Florianópolis, Santa Catarina. Out. 2008.

CICONINI, G. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado)- Mestre em biotecnologia- Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2012.

Bilobrovec, M., Mar¸cal, R. F. M. and Kovaleski, J. L. **Implementação de um Sistema de Controle Inteligente Utilizando a Lógica Fuzzy**, XI SIMPEP, Bauru, SP, 2004.

CAMPOS FILHO, Pio. **Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica fuzzy**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Florianópolis, UFSC, 2014.

D'AVILA, R.F; LUVIELMO, M. M; MENDONÇA, C. R.**.** B; JANTSEN, M. M**. Adjuntos utilizados para produção de cerveja: características e aplicações**. Estudos Tecnológicos em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, 2012.

DINSLAKEN, D. **Manual do Cervejeiro Caseiro**. 2016. Disponível em:< http://concerveja.com.br/cervejaequilibrada/?utm_campaign=blogbase_31_bugu&utm_medium=email&utm_source=RD+Stat ion>. Acesso em: 28/06/2018.

FERREIRA, R. H.; VASCONCELOS, R. L.; JUDICE, V. M. M; NEVES, T. R. **Inovação na fabricação de cervejas especiais na região de Belo Horizonte.** 2011.

FIGUEIREDO, A.M; CARVALHO, L.L. **Produção e avaliação sensorial de cerveja utilizando farinha de banana verde como adjunto de malte**. TCC (obtenção de título e Engenharia Química)- Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas-MG, 2014.

F. GOMIDE, A. ROCHA e P. ALBERTOS, "**Neurofuzzy Controllers," 2nd International Conference on Fuzzy Logic and Neural Networks** - IIZUKA '92, 1992.

GREY, S. **Os diferentes tipos de cerveja: Lager, Ale e Lambic**. 2014. Disponível em: < http://gourmmelier.com/os-diferentes-tipos-de-cerveja-lager-ale-e-lambic/>. Acesso em: 19/04/2018.

HENRIQUES, A. SENNE, A**. Microcervejarias incluídas no Simples Nacional**. 2016. Disponível em: < http://www.mariacevada.com.br/2016/10/microcervejarias-incluidas-no-simples.html>. Acesso em: 19/04/2018.

HOFFMANN, L.; QUADRIELLI, G.; PIZZOLATO, N. D.; ARAUJO, F**. O. Proposta de sistema baseado em lógica fuzzy como modelo de apoio a decisão para a qualidade do produto acabado em uma microcervejaria brasileira.** Revista Espacios, 2016.

JORGE, E.P.M. **Processamento de cerveja sem álcoo**l. 2004. Monografia de conclusão de curso (Graduação) – Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, 2004.

JÚNIOR, O. C.; JÚNIOR, J. R. T.; GALINARI, R.; RAWET, E. L.; SILVEIRA, T. J. **BNDES- O setor de bebidas no Brasil. 2014.** Disponível em: < **https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3462/1/BS%2040%20O%20setor%20de%20bebidas%20no%20Brasil_P.pdf>.** Acesso em: 20/04/ 2018.

KOLJONEN, T. et al. **A Model for the Prediction of Fermentable Sugar Concentrations During Mashing. Journal of Food Engineering**, 1995

.

LORENZI, H.; SOUZA, H; MEDEIROS. J**; Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Plantarum, 1996. 303 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Métodos de Analises de Bebidas e Vinagre**. 2008.

MAGRI, D. **Conheça as 10 cervejas mais vendidas no Brasil**. Disponível em: < http://chefcomcerveja.com.br/cervejas-mais-vendidas-no-brasil/>. Acesso em: 18/04/2018.

MATOS, D. A. et al. **Fécula de batata como adjunto de malte na fabricação de cerveja**. B. CEPA, Curitiba, v.23, n.1, p. 161-172, 2005.

MINELLA, E. **Melhoramento da cevada**. Pesquisador da Embrapa trigo. Passo fundo. 1999.

MORADO, Ronaldo. Larousse da Cerveja. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

MOREIRA, R. C.V; MLYNARCZUK, B.B. **Quantificação da pectina do albedo do maracujá amarelo por espectroscopia e análise multivariada.** Ponta Grossa, 2013.

MOTA, N.; MOTA, M. Biotecnologia, Fundamentos e Aplicações. Lisboa, 2003. 505p.

OTTEN BRAU. Como calcular o IBU. 2014. Disponível em:< http://www.ottenbrau.com.br/como-calcular-o-ibu/>. Acesso em: 02/06/ 2018.

PALMER, J. **How to Brew.** 1999. Disponível em: < http://www.howtobrew.com/>. Acesso em: 20/05/2018.

RIGNEL, D. G. S; CHENCI, G. P; LUCAS, C. A. **Uma introdução a lógica fuzzy**. Revista eletrônica de sistema de informação e gestão tecnológica. 2011.

SALLES, A. **CERVBRASIL-Anuário 2015.** Disponível em:< http://www.cervbrasil.org.br/arquivos/ANUARIO_CB_2015_WEB.pdf>. Acesso em: 20/04/2018.

SEBRAE. **Cervejas Artesanais- Potencial de crescimento do mercado.** 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/Cliente/Downloads/RI_2015_06_ALIMENTOS_CervejaArtesanal_Ajustado1.pdf >. Acesso em: 19/04/2018.

SEBRAE. **Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Negócios com sabor de cerveja.** 2014. Disponível em: <http://www.sebraers.com.br/index. php/noticia/2621-negocios-com-sabor-de-cerveja>. Acesso em: 22/03/2018.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Como montar uma microcervejaria- Mercado**. Disponível em:< http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-mi, 8f387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD#naveCapituloTopo >. Acesso em: 22/04/2018.

SENAI. Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro. **Tecnologia cervejeira\SENAI**, agrária, Centro de Tecnologia SENAI Alimentos e bebidas- Rio de Janeiro, 2014.

SINDICERV. Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja**. Origem da cerveja - História.** [online]. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br/acerveja. php>. Acesso em 13/03/2018.

SIQUEIRA, P. B; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A**. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis.** Alimentos e Nutrição, Araraquara, v. 12, n. 4, p.491-498, dez. 2008. Disponível em: . Acesso em: 27/10/2016.

TANSCHEIT, Ricardo; SOUZA, Reinaldo C.; MACHADO, Maria Augusta S.; CALDEIRA, André M. (2007). **Inteligência computacional aplicada à administração, economia e engenharia em Matlab**. São Paulo: Thomson Learning.

VASCONCELOS, Y. Inovações cervejeiras. Pesquisa FAPESP. 2017. Disponível em: < http://revistapesquisa.fapesp.br/2017/01/09/inovacoes-cervejeiras/>. Acesso em: 23/10/2018.

VEREDIANO, F. C. **Aproveitamento da torta residual da extração do óleo da Polpa de Macaúba para fins alimentícios**. 2012. 114 f. Tese (Pós- graduação e Engenharia química)- Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

VENTURINI FILHO, W.G.; CEREDA, M.P. **Hidrolisado de fécula de mandioca como adjunto de malte na fabricação de cerveja: avaliação química e sensorial.** Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 1998.

VENTURINI, W. G. **Bebidas alcoólicas- Ciência e tecnologia**. Editora Edgard Blucher, 2012.

SENAI. Departamento Regional do Estado do Rio de Janeiro. **Tecnologia cervejeira\SENAI**, agrária, Centro de Tecnologia SENAI Alimentos e bebidas- Rio de Janeiro, 2014.

ZOBARAN, E. **Após inclusão de cervejarias no Simples, setor projeta milhares de novas fábricas no país.** 2016. Disponível em: < http://blogs.oglobo.globo.com/saideira/post/apos-inclusao-de-cervejarias-no-simples-setor-projeta-milhares-de-novas-fabricas-de-cerveja.html>. Acesso em: 19/04/2018.