



# Avaliação de cervejas artesanais elaboradas a partir de *software* cervejeiro

Gustavo Ferreira Fonseca

## Projeto Final de Curso

Orientadores

Prof. Eliana Flavia Camporese Sérvulo, D.Sc.

Prof. Thiago Rocha dos Santos Mathias, D.Sc.

Agosto de 2015

# **AVALIAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS ELABORADAS A PARTIR DE SOFTWARE CERVEJEIRO**

*Gustavo Ferreira Fonseca*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado por:

---

Catarina Amorim Oliveira, M.Sc. - UFF

---

Veronica Ferreira Melo, D.Sc. - IFRJ

---

Eveline Lopes Almeida, D.Sc. – EQ/UFRJ

Orientado por:

---

Eliana Flavia Camporese Sérvulo, D.Sc. – EQ/UFRJ

---

Thiago Rocha dos Santos Mathias, D. Sc. – IFRJ

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2015

Fonseca, Gustavo Ferreira

Avaliação de cervejas artesanais elaboradas a partir de *software* cervejeiro / Gustavo Ferreira Fonseca. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2015.

xii, 78 p.; il.

(Projeto Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2015.

Orientadores: Eliana Flavia Camporese Sérvulo e Thiago Rocha dos Santos Mathias.

1. Cerveja artesanal 2. Brassagem 3. BeerSmith 4. Monografia (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Eliana Flavia Camporese Sérvulo e Thiago Rocha dos Santos Mathias. Avaliação de cervejas artesanais elaboradas a partir de *software* cervejeiro.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família pela educação e valores que foram ensinados.

À minha namorada, pelo incondicional apoio nesses últimos meses e nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, pelo suporte e compreensão, que certamente facilitaram essa jornada.

Aos meus orientadores Eliana Flavia e Thiago, pelos ensinamentos, compreensão e paciência ao ensinar.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

## **AVALIAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS ELABORADAS A PARTIR DE SOFTWARE CERVEJEIRO**

Gustavo Ferreira Fonseca

Agosto, 2015

Orientadores: Eliana Flavia Camporese Sérvulo, D.Sc.

Thiago Rocha dos Santos Mathias, D.Sc.

O consumo de cervejas artesanais torna-se cada dia mais popular, e está em constante crescimento no mercado brasileiro e mundial. Com o intuito de atender esta nova demanda de mercado, que são os apreciadores de cervejas ditas “especiais”, pode ser de grande auxílio a utilização de uma ferramenta de suporte àqueles que estão interessados em inserir-se neste ramo como produtores de cerveja artesanal. O “software” BeerSmith<sup>®</sup> é utilizado hoje mundialmente no auxílio da elaboração de receitas para iniciantes e até mesmo para mestres cervejeiros com já experiência em pequenas indústrias. Com o objetivo de avaliar a sua utilização, o presente trabalho buscou desenvolver uma receita de cerveja na teoria com os parâmetros indicados pelo “software”, e posteriormente, com o desenvolvimento experimental obter resultados analíticos e comparáveis entre a teoria e a prática. Quando passíveis de determinações analíticas, estas foram realizadas nos mostos doce e amargo e nas cervejas verde e maturada. Os principais parâmetros de processo calculados e/ou analisados foram eficiência de brasagem e mostura, atenuação aparente e real. Os parâmetros de caracterização dos mostos e/ou cervejas foram gravidade específica, teor alcoólico em % mássica e volumétrica, cor, amargor, volume de carbonatação. Com isso, foi possível avaliar o “software” escolhido no auxílio à produção caseira de cerveja. Os resultados obtidos indicaram que o programa é bastante útil quando o condutor detém o conhecimento do processo cervejeiro.

Palavras-chave: Cerveja; BeerSmith<sup>®</sup>; Cerveja artesanal; Brassagem; Fermentação.

Abstract of the Final Project presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for a degree in Chemical Engineering.

## **CRAFT BEERS EVALUATION PREPARED BASED ON BREWER SOFTWARE**

Gustavo Ferreira Fonseca

August 2015

Advisers: Eliana Flavia Camporese Sérvulo D.Sc.

Thiago Rocha dos Santos Mathias D.Sc.

The consumption of craft beers is becoming more popular everyday, and it is constantly growing in Brazilian and world market. In order to meet this new market demand, from “special” beers lovers, it can be useful for those interested to be part of this business, as craft brewers, to use a support tool. The BeerSmith® software is used worldwide to help recipes development for beginners and even masters brewers from micro breweries. To evaluate its utilisation, this project sought to develop theoretically a beer recipe using the software parameters and later with an experimental development to obtain analytical and comparable results between theory and practice. When it was possible, analytical determination of sweet wort/bitter wort and green/aged beer were conducted. The main process parameters evaluated were brew house and mash efficiency, real and apparent attenuation. The wort and/or beer parameters analysed were specific gravity, alcohol content by mass and volume percentage, color, bitterness, carbonation volume, Thus, it was possible to evaluate the software chosen for helping home brewers. The results showed that it is more useful when the person have a good knowledge of brewing process.

Keywords: BeerSmith®; Craft beer; Mash; Fermentation.

# SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
1.1. Contextualização e Justificativa .....	1
1.2. Objetivo geral .....	2
1.3. Estrutura do Trabalho .....	2
2. Revisão Bibliográfica .....	4
2.1. Uma breve história da cerveja .....	4
2.2. Matérias primas e agentes de fermentação .....	6
2.2.1 Água.....	6
2.2.2 Malte .....	8
2.2.3 Lúpulo.....	9
2.2.4 Leveduras .....	10
2.2.5 Adjuntos .....	11
2.3. O Processo de fabricação .....	12
2.3.1. Moagem .....	13
2.3.2 Brassagem .....	14
2.3.2.1 Mostura.....	14
2.3.2.2 Clarificação do mosto.....	16
2.3.2.3 Cocção .....	17
2.3.3 Fermentação .....	18
2.3.4 Envase .....	20
2.4. BeerSmith® .....	21
2.5. Cálculos de processo .....	22
2.5.1. Brassagem .....	22
2.5.1.1. Poder diastático .....	22
2.5.1.2. Gravidade específica e Eficiência .....	22
2.5.1.3. Cor da cerveja (EBC) .....	24
2.5.1.4. Temperatura de infusão para mostura .....	25
2.5.1.5. Amargor.....	25
2.5.2. Fermentação .....	26
2.5.2.1. Atenuação aparente.....	26
2.5.2.1. Gravidade específica Final (FG) .....	27
2.5.2.3. Teor alcoólico por volume e por massa (ABV% e ABW%).....	28

2.5.3. Envase .....	29
2.5.3.1. Carbonatação .....	29
3. Metodologia .....	31
3.1. Desenvolvimento e cálculos teóricos.....	31
3.1.1. A escolha do estilo .....	31
3.1.2. Matérias primas e agente da fermentação.....	33
3.1.2.1. Maltes.....	33
3.1.2.2. Lúpulos .....	34
3.1.2.3. Levedura, o agente de fermentação .....	35
3.1.2.4. Adjuntos e aditivos.....	36
3.1.2.5. Água.....	36
3.1.3. A receita elaborada .....	37
3.1.4. Mostura .....	39
3.1.5. Cocção .....	43
3.1.6. Fermentação e maturação .....	44
3.1.7. Envase .....	46
3.2. Desenvolvimento experimental .....	48
3.2.1. Matérias Primas e agente de fermentação.....	48
3.2.2. Materiais .....	49
3.2.3. Métodos .....	50
3.2.3.1. Limpeza .....	50
3.2.3.2. Moagem .....	51
3.2.3.3. Brassagem .....	52
3.2.3.4. Fermentação .....	58
3.2.3.5. Envase e carbonatação.....	59
3.2.3.6. Análises do mosto e cerveja.....	61
4. Resultados e discussão .....	62
4.1. Análise comparativa .....	62
4.1.1. Mostura .....	62
4.1.2. Clarificação e lavagem do bagaço .....	64
4.1.3. Cocção .....	64
4.1.4. Fermentação .....	65
4.1.5. Carbonatação .....	67
4.1.6. Cor .....	68
4.1.7. Análises com o “Beer Analyser” .....	68

4.1.7. Criação de receita a partir dos valores experimentais.....	71
5. Conclusão .....	73
6. Referências Bibliográficas .....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição do mosto e da cerveja (PRIEST e STEWART, 2006).....	6
Figura 2: As cores para a cerveja em EBC e SEM (Disponível em Beer Page) .....	8
Figura 3: As glândulas lupulinas e o lúpulo (imagem própria, Obernai-FR, 2013).....	9
Figura 4: A moagem ideal do malte (BARTH, 2013).....	13
Figura 5: extração de açúcares e ação das enzimas vs temperatura (PALMER, 2006). .....	16
Figura 6: A cinética da fermentação (PRIEST e STEWART, 2006).....	19
Figura 7: Carbonatação por estilo em volumes de CO <sub>2</sub> (Disponível em Home Brew Manual) .....	20
Figura 8: Banco de dado de grãos (Fonte: BeerSmith®).....	33
Figura 9: Banco de dado de lúpulos (Fonte: BeerSmith®).....	34
Figura 10: Receita da cerveja em questão (Fonte: BeerSmith®).....	39
Figura 11: Degraus de brassagem sugeridos (Fonte: BeerSmith®). .....	40
Figura 12: O perfil de um equipamento utilizado (Fonte: BeerSmith®).....	42
Figura 13: O perfil de mostura da cerveja em questão (Fonte: BeerSmith®). .....	43
Figura 14: O perfil de fermentação da cerveja em questão (Fonte: BeerSmith®). .....	45
Figura 15: Parâmetros de fermentação e envase (Fonte: BeerSmith®).....	48
Figura 16: As matérias primas e agente de fermentação da cerveja (elaboração própria).....	49
Figura 17: O detergente utilizado. ....	50
Figura 18: O produto sanitizante. ....	51
Figura 19: O malte antes e depois do moedor.....	51
Figura 20: Os equipamentos de moagem. ....	52
Figura 21: Preparação da água e grãos. ....	52
Figura 22: A infusão da água ao malte. ....	53
Figura 23: A verificação de temperatura e pH. ....	53
Figura 24: O primeiro e segundo degraú de mostura. ....	54
Figura 25: A recirculação do mosto doce.....	54
Figura 26: A clarificação e separação do mosto doce. ....	55
Figura 27: A medição de temperatura e gravidade específica.....	55
Figura 28: A adição do lúpulo.....	56
Figura 29: A hidratação da levedura. ....	56
Figura 30: O resfriamento do mosto amargo.....	57
Figura 31: A transferência do mosto amargo ao fermentador. ....	57
Figura 32: O fermentador e a câmara fria.....	58
Figura 33: A transferência de fermentador e a medição da densidade.....	59

Figura 34: A Limpeza das garrafas.....	59
Figura 35: A sanitização das garradas. ....	60
Figura 36: O envase e fechamento da cerveja.....	60
Figura 37: Amostra pré e pós centrifugação.....	61
Figura 38: As curvas de mostura teórica e prática.....	63
Figura 39: O teste do iodo para, respectivamente, trinta minutos (A), sessenta minutos (B) e o iodo puro (C).....	63
Figura 40: Pressão na garrafa.....	67
Figura 41: Comparativo de cor da cerveja. ....	68
Figura 42: Novos valores estimados a partir do experimento. ....	72

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Íons relevantes na composição da água cervejeira (PALMER, 2006) .....	7
Tabela 2: Tipos mais comuns de adjunto e suas utilizações (PALMER, 2006). .....	12
Tabela 3: Principais enzimas do malte e suas funções (PALMER, 2006):.....	14
Tabela 4: Temperatura de gelatinização de alguns grãos (PALMER, 2006) .....	15
Tabela 5: Conversão de açúcares (PALMER, 2006) .....	21
Tabela 6: Características dos maltes escolhidos (Fonte: BeerSmith®).....	34
Tabela 7: Características dos lúpulos escolhidos .....	35
Tabela 8: Características da levedura escolhida. ....	35
Tabela 9: Características dos adjuntos escolhidos.....	36
Tabela 10: Características da água utilizada. ....	37
Tabela 11: Receita da Belgian Blond Ale .....	37
Tabela 12: Estimativa da cor EBC da cerveja.....	38
Tabela 13: Estimativa do amargor da cerveja em IBU.. ....	44
Tabela 14: Estimativa da gravidade final (FG).....	46
Tabela 15: Estimativa do teor alcoólico. ....	46
Tabela 16: Cálculo de quantidade de açúcar de “priming” .....	47
Tabela 17: Os materiais utilizados no processo .....	49
Tabela 18: O cálculo do teor alcoólico da cerveja elaborada. ....	67
Tabela 19: Os resultados obtidos para as quatro amostras no “Beer Analyser” .....	69
Tabela 20: Comparação dos resultados obtidos .....	70
Tabela 21: Comparação entre equação (21) e (22) e o “Beer Analyser” .....	70
Tabela 22: Calculo de conversão entre gravidade específica e graus Plato.....	71
Tabela 23: Comparação de resultados para o mosto doce e amargo. ....	71

# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização e Justificativa

A cerveja é uma bebida produzida pela fermentação alcoólica de leveduras e é composta, na maioria das vezes, por malte de cevada, lúpulo e água. Até o século XIX pequenos produtores e mosteiros detinham o conhecimento da produção da bebida e forneciam seus produtos em nível regional, de forma a atender diversos do que podemos chamar pequenos mercados consumidores. Com a revolução industrial houve o aumento da capacidade produtiva de algumas cervejarias, que passaram a atender grande parte do mercado, padronizando seus produtos e tornando as “Pilsens” mundialmente famosas e dominantes. Entretanto, hoje no Brasil e no mundo, o consumidor busca cada vez mais as chamadas cervejas “especiais”, fomentando o crescimento do mercado de novas cervejarias artesanais e aumentando o interesse das pessoas na produção da cerveja caseira.

Produções de até 100 litros por batelada, para consumo próprio, requerem um investimento relativamente baixo e possuem basicamente as mesmas etapas da produção industrial, mas com grande facilidade na variação de estilos de cervejas produzidos e nas matérias primas inovadoras utilizadas. Um cervejeiro experiente deve utilizar corretamente ingredientes e processos para elaborar novas receitas, para que estas se encaixem no estilo desejado e alcancem os objetivos estabelecidos de aroma, aparência e sabor do produto final.

Para auxiliar novos aspirantes a mestres cervejeiros existem muitos livros, sites e “softwares” especializados no assunto, que discutem sobre as mais diversas matérias primas utilizadas, os principais equipamentos de produção caseira à industrial, e diferentes métodos de produção, mostrando o passo a passo da elaboração de receitas e execução do processo. Um dos “softwares” pagos mais populares, hoje, nos Estados Unidos, foi criado por Brad Smith e chama-se BeerSmith®, que permite a previsão rápida das características de uma cerveja a

partir da escolha de ingredientes, agente de fermentação, equipamento de produção e manipulação de dados do processo produtivo.

Com o momento propício para investimentos em cervejarias artesanais, a partir do conhecimento de processo obtido durante a formação e o interesse pelo tema por parte do autor, este projeto foi, então, almejado, principalmente, com o objetivo de avaliar uma ferramenta prática já utilizada no mercado. Sendo assim, o presente trabalho buscou desenvolver uma receita de cerveja de forma teórica e experimental, estimando valores teóricos como: a cor da cerveja, o teor alcóolico e o amargor, entre outros, para que ao final fossem confrontados com os valores reais obtidos. Com esta análise, tornou-se possível a avaliação desta ferramenta para a produção artesanal de cerveja.

## **1.2. Objetivo geral**

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a utilização do BeerSmith® e suas equações para o desenvolvimento de uma receita de cerveja em pequena escala, explorando as principais etapas e componentes do processo. Para tanto foram estabelecidas as seguintes etapas:

- Desenvolvimento teórico de uma receita com auxílio do BeerSmith®;
- Desenvolvimento experimental da receita teórica;
- Análises do mosto e cerveja produzidos;
- Comparação e discussão dos resultados obtidos.

## **1.3. Estrutura do Trabalho**

Primeiramente, na revisão bibliográfica foi apresentado o histórico relacionado a produção de cervejas no mundo e no Brasil. Em seguida, foram apresentadas as matérias primas, o agente de fermentação, o processo de produção e o *software* cervejeiro utilizado (BeerSmith®), onde toda a teoria foi descrita de forma objetiva. Após a apresentação de todos os componentes, na metodologia foram descritas: a elaboração teórica da receita, o método efetivo da produção caseira da cerveja e análises para caracterização em laboratório, seguindo

todo o embasamento bibliográfico estudado. Por último, o trabalho conduziu à discussão dos resultados a fim de compreender as divergências e pontos de melhoria de novas receitas utilizando o “software” proposto.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Uma breve história da cerveja

Os primeiros registros da cerveja indicam sua origem na Mesopotâmia (hoje Iraque) datados há cerca de 5000 anos, passando pelos Babilônios, há 3700 anos, chegando até os Egípcios, onde ela era a bebida mais popular em todos os níveis, desde os Faraós aos camponeses. Porém, o desenvolvimento da tecnologia cervejeira e sua indústria são ligados diretamente à Europa do norte, onde o frio impedia o crescimento da vinicultura, e aos mosteiros onde cada monge teria direito à uma caneca de cerveja por dia. Como os mosteiros tinham entre 30 e 400 monges, mais servos e serventes, um mosteiro que servisse 150 canecas por dia precisaria de mais de 2000 litros de cerveja por mês (BARTH, 2013).

No século X a grande maioria das cervejas nos mosteiros era feita com “gruit”, uma mistura de ervas utilizada para dar sabor à bebida. A utilização do lúpulo teve início na Alemanha, no século XV, e conquistou a Europa substituindo a popular mistura de ervas em todos os estabelecimentos comerciais. Além do sabor e aroma únicos, os compostos do lúpulo agem como agentes conservantes, mantendo assim as cervejas próprias para consumo por meses. As cervejas feitas sem lúpulo eram chamadas de Ale enquanto as que o utilizavam eram chamadas de cerveja. As Ales costumavam ser cervejas mais encorpadas, doces e com alto teor alcoólico, enquanto as “cervejas” eram mais amargas, com menos aroma e menor teor alcoólico (BARTH 2013). Com a popularização da cerveja, as Ales praticamente desapareceram durante o século XVII, tendo cada região seu tipo de cerveja favorita, dependendo da disponibilidade e qualidade das matérias primas, e do clima.

O cereal mais utilizado era a cevada devido à facilidade de malteação, entretanto este podia ser complementado ou substituído pelo trigo ou pela aveia. Em 1516, o Reinheitsgebot, ou lei da pureza, foi introduzido na Baviera, decretando que apenas malte de cevada, lúpulo e água poderiam ser utilizados para fazer cerveja (PRIEST e STEWART, 2006).

Somente no século XIX, devido à revolução industrial, crescimento populacional, urbanização e aumento no consumo da bebida, que surgiram as grandes cervejarias. Até

então, nos últimos séculos, a produção e o consumo ficavam limitados às tavernas e pequenos estabelecimentos. O desenvolvimento das ferrovias por volta de 1830 transformou a distribuição, permitindo que cervejas regionais passassem a ser encontradas nacionalmente, viabilizando o aumento da produção. Foi também neste século que se popularizou o tipo de cerveja mais bebida no mundo, a Pilsen, com a difusão da fermentação de fundo, começando na República Tcheca, passando pela Alemanha e chegando a célebres cervejeiros como o dinamarquês Jacob Christian Jacobsen, fundador do grupo Carlsberg e o holandês Gerard A. Heineken, fundador do grupo Heineken (PRIEST e STEWART, 2006).

No século XX, houve muitas aquisições de outras cervejarias, um grande aumento na produção de cerveja e diminuição na quantidade de cervejarias, que eram compradas pelos grandes grupos ou que faliam por perda de espaço no mercado. Anheuser-Busch, nos Estados Unidos, Carlsberg na Dinamarca, Heineken na Holanda, entre outras gigantes, se tornaram líderes absolutos de mercado em seus países, sinal da globalização desse segmento de mercado.

Os primeiros relatos da cerveja por terras brasileiras datam do século XVII, com a invasão holandesa pela Companhia das Índias Ocidentais, quando a bebida era contrabandeada. Mas foi com a vinda da corte portuguesa ao Brasil, no início do século XIX, que, por influência inglesa, a bebida chegou em maiores quantidades ao país. Ao longo do século, a concorrência com as pequenas marcas nacionais aumentou, principalmente, por elas serem mais baratas, mesmo que de inferior qualidade (SANTOS, 2004).

Não pode-se datar com precisão o início da produção da cerveja no Brasil, mesmo que se saiba que tenha sido na primeira metade do século XIX, onde tem-se notícia de poucas cervejarias no Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul, com produção entre 200 e 300 mil garrafas ao ano. As primeiras cervejarias industrializadas surgiram nas décadas de 1870 e 1880, em Porto Alegre, com Friederich Christoffel, que produzia um milhão de garrafas (SANTOS, 2004).

Em 1880 instalaram-se as primeiras máquinas compressoras frigoríficas, que produzindo gelo artificial, proporcionavam um ambiente refrigerado, representando um grande avanço no setor. Data dessa época a fundação das duas cervejarias mais importantes do país, a Companhia Cervejaria Brahma do Rio de Janeiro e a Companhia Antártica Paulista,

que na época chamava-se “Antarctica Paulista – Fábrica de Gelo e Cervejaria”, dirigida por Louis Bucher (SANTOS, 2004).

No final dos anos 1980 começou, nos Estados Unidos, um fenômeno chamado “homebrewing” (fazer cerveja em casa), após a legalização por lei, do então presidente Jimmy Carter, em 1979, da produção caseira de cerveja. O “hobby” para muitos se tornou negócio, começando assim movimentos de revitalização da antiga cultura cervejeira através de cervejarias artesanais (MORADO, 2009). Passando pela Europa e finalmente chegando ao Brasil no final dos anos 1990, novas cervejarias, hoje famosas, como a Baden Baden, Wals e Colorado seguiram a tendência americana e lançaram suas primeiras cervejas especiais. Hoje, cresce a cada dia o número de cervejeiros e micro cervejarias em todas as regiões do país.

## 2.2. Matérias primas e agentes de fermentação

São três os ingredientes de base para a fabricação da cerveja: a água, o malte, principal fonte de açúcar na fermentação, o lúpulo, responsável pelo amargor e aroma do produto final. Os agentes de fermentação são as leveduras, que fazem a conversão dos açúcares ao etanol. Para uma cerveja de base, puro malte, com médio teor alcoólico tem-se, aproximadamente, a seguinte composição de matérias-primas e de cerveja para uma receita:



Figura 1: Composição do mosto e da cerveja (PRIEST e STEWART, 2006).

### 2.2.1 Água

A água é o principal ingrediente da cerveja em quantidade. Na realidade, a água utilizada na cerveja é uma solução diluída de variados sais, gases e componentes orgânicos em pequenas quantidades. A composição da água utilizada na fabricação vai ter uma influência significativa na qualidade do produto final (PRIEST e STEWART, 2006).

De maneira grosseira, se a água tem gosto bom, provavelmente a cerveja também terá, caso contrário, existem alguns tratamentos possíveis. Dependendo do problema, a água pode ser fervida, ou se adicionar comprimidos de metabissulfito de sódio, além de filtração com carvão ativado, redutores de dureza e decarbonatação. Um dos fatores mais importantes ao se escolher a água da cerveja é a concentração de alguns íons (Tabela 1).

Tabela 1: Íons relevantes na composição da água cervejeira (PALMER, 2006)

Íon	Característica	Concentração ideal
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	Principal íon para determinar a dureza da água. É importante para a atividade enzimática, leveduras e reações proteicas.	50-150ppm
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	Comporta-se de maneira similar ao cálcio, mas com menor eficiência. Concentrações acima de 50ppm podem dar gosto azedo e acima de 125ppm efeito laxante e diurético.	10-30ppm
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	A família dos carbonatos é a principal responsável na determinação da química da água. Ele aumenta o pH da água neutralizando a acidez de maltes mais escuros. Quanto maior a quantidade de maltes torrados mais importante deve ser a concentração de bicarbonatos, para atingir o pH de mostura ideal.	0-250ppm
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	Contribui para a dureza permanente da água, assim como o Ca e o Mg. Acentua o amargor do lúpulo, deixando-o mais seco e nítido, contudo valores acima de 400ppm podem resultar em um sabor adstringente e desagradável.	50-150ppm pouco amargas 150-350ppm muito amargas
Sódio (Na <sup>+1</sup> )	Pode acentuar o gosto doce do malte no produto final. Acima de 150ppm pode dar sabor salgado a bebida.	0-150ppm
Cloreto (Cl <sup>-1</sup> )	Acentua o sabor, contudo concentrações acima de 300ppm pode dar sabor de “remédio”.	0-250ppm

## 2.2.2 Malte

O malte de cevada é obtido a partir do grão de cevada parcialmente germinado, num processo chamado de malteação. Sua principal função é fornecer açúcares e nutrientes, que servirão de alimento ao fermento (leveduras) que produzirá álcool, gás carbônico e outros tantos subprodutos da fermentação do mosto. Os principais componentes do grão são a casca, composta de fibras, e o endosperma, matriz de amido e proteínas, o farelo e o germe. Além disso, a composição de maltes utilizados na formulação da cerveja vai proporcionar aromas e sabores característicos, além de influenciar na cor da bebida (PORTO, 2011).

Um dos principais motivos da utilização do malte de cevada é que este possui alto poder enzimático, com destaque para as amilases, que terão um papel essencial no processo de mosturação, provocando a hidrólise do amido presente no grão em açúcares fermentescíveis. Este poder enzimático é denominado poder diastático. Existem duas enzimas de diástese presentes no malte, a primeira é a alfa-amilase e a segunda é a beta-amilase. Estas são as principais enzimas da mostura e atuam entre 60 e 75°C. Se os grãos utilizados não possuem poder diastático, simplesmente não é possível fazer a conversão de açúcares durante a mostura. O que levará à uma cerveja doce, parcialmente fermentável e com baixo teor alcóolico. O poder diastático terá influência direta sobre a máxima quantidade por batelada que é aconselhado a utilizar de certo grão (SMITH, 2010).

Uma das características principais de um malte é sua cor. Ela pode ser quantificada em EBC (“European Brewery Convention”), MCU (“Malt Color Unit”) ou SRM (“Standard Reference Method”) e é determinada pela cor de cocção, fervura de um mosto por duas horas, verificando-se a cor obtida ao final.

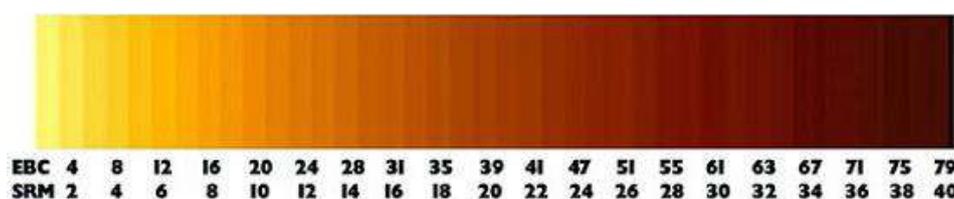


Figura 2: As cores para a cerveja em EBC e SRM (Disponível em Beer Page)

Já a quantidade de proteínas é importante na estabilidade da espuma e no corpo da cerveja. Altos percentuais de proteína podem exigir uma etapa a mais de mostura, com ação de proteases, para hidrólise de proteínas de grandes cadeias e insolúveis em menores e solúveis (PALMER, 2006).

Outros fatores importantes e que tem influência direta na etapa de brassagem são o rendimento e o potencial do grão. Estes são calculados a partir da medição da densidade do mosto, quão maior a concentração de açúcares dissolvidos maior a densidade, ou gravidade específica. O potencial de um grão nada mais é que a densidade de mosto estimada para cada libra de grão presente em um galão. Já a eficiência, é calculada em relação a gravidade se utilizada a mesma quantidade em glicose (PALMER, 2006).

### 2.2.3 Lúpulo

O lúpulo passou a ser largamente utilizado na produção de cerveja após o Reinheitsgebot. Além do sabor, o lúpulo aparece na história cervejeira relacionado à sua capacidade de preservação da cerveja, principalmente antes do uso de refrigeradores. O lúpulo (*Humulus lupulos*) é uma planta, dióica, trepadeira, com folhas de três ou cinco lóbulos. Apenas a planta fêmea forma os cones de lúpulo dentro dos quais se encontram as glândulas lupulinas, que possuem as resinas amargas e óleos essenciais, de cor amarelada, ver Figura 3 (PRIEST e STEWART, 2006).



Figura 3: As glândulas lupulinas e o lúpulo (Fonte: autor, Obernai-FR, 2013).

As principais contribuições do lúpulo para a cerveja são: amargor, aroma, sabor (combinação entre aroma e gosto), sensação na boca, espuma, estabilidade no sabor, ação antimicrobiana e antioxidante (HIERONYMUS, 2012).

Os principais responsáveis pelo amargor são os alfa-ácidos, dentre os quais a humulona, que são insolúveis em água e não muito amargos até sua isomerização por ação do calor. Quão maior o tempo de fervura, maior o percentual de isomerização, e, conseqüentemente, mais amarga fica a cerveja (PALMER, 2006). Beta-ácidos também vão contribuir para o amargor, mas com menor potência que os alfa-ácidos. Eles não sofrem

isomerização e são eliminados na maior parte por precipitação, mas pequenas quantidades são convertidas em huluponas, que são solúveis e contribuem para o amargor (PRIEST e STEWART, 2006).

Enquanto a maior parte do amargor vem da isomerização dos alfa-ácidos, o sabor e o aroma vêm dos óleos essenciais, que variam de 1 a 2% do peso do cone seco. Estes são voláteis e são perdidos largamente durante a etapa de cocção do mosto. Os óleos aromáticos leves (mirceno, linalol, geraniol, limoneno, terpineol, etc.) são responsáveis pelo frescor que sentimos ao abrir um saco de lúpulo e podem impactar na cerveja pela técnica de “dry-hopping”, que será discutida mais adiante. Óleos essenciais pesados (humuleno, cariofileno, farneseno) e seus óxidos e epóxidos são o que sentimos em adições tardias na fervura (PALMER, 2006).

Outro fator que influencia na potência de um dado lúpulo é o envelhecimento. Os óleos essenciais, incluindo tanto os de aroma quanto os de amargor, tendem a desnaturar com o tempo, promovendo perda de aroma, sabor e amargor. Lúpulos mais velhos tem aroma parecido com queijo e podem estragar uma cerveja. São três os principais aceleradores do envelhecimento de lúpulos, calor, luz e oxigênio. Para retardar o envelhecimento do lúpulo deve-se estocá-lo em ambientes abaixo de 0°C, em lugares escuros e em embalagens a vácuo (SMITH, 2008).

#### **2.2.4 Leveduras**

Leveduras são fungos não filamentosos, unicelulares, aeróbios facultativos, utilizados na fermentação alcoólica da cerveja desde os primórdios. Mas foi com a descoberta de Louis Pasteur, na década de 1860, que as leveduras mudaram para sempre a indústria cervejeira, acabando por vez com um dos maiores mitos da fabricação da bebida. Na década de 1880 surgiram dos laboratórios da Carlsberg, na Dinamarca, os nomes das espécies *Saccharomyces cerevisiae* para o levedo de topo usado na fermentação de “ales”, e *Saccharomyces cerlsbergensis* para a levedura utilizada na fermentação de “lagers” (PRIEST e STEWART, 2006).

Inicialmente deve-se entender o básico a respeito do metabolismo de uma levedura. Após a inoculação no mosto, as primeiras células utilizam suas reservas de glicogênio e qualquer oxigênio disponível para revitalizar suas membranas celulares para melhorar a

permeabilidade e transferência de nutrientes. Como a célula utiliza açúcares mais simples mais facilmente, elas consomem os açúcares disponíveis na seguinte ordem: glicose, frutose, sacarose, maltose e, só então, maltotriose. A utilização de glicose não gasta nenhuma energia, por isso a alta concentração de glicose acaba por suprimir a habilidade da célula de utilizar maltose e maltotriose. Essa habilidade de metabolizar açúcares mais complexos é diretamente ligada às proporções dos açúcares e nutrientes presentes no mosto. O metabolismo determina a taxa de fermentação e o grau de atenuação, o quanto a levedura irá metabolizar dos açúcares disponíveis no mosto gerando etanol e CO<sub>2</sub> (WHITE e ZAINASHEFF, 2010).

O tipo de levedura também é essencial, pois ele vai definir o tipo da cerveja e a temperatura de fermentação. “Ales” são leveduras que fazem fermentação de “topo”, fermentação que acontece no topo do fermentador, elas fermentam a maiores temperaturas, 18-22°C, e entram em fase de dormência abaixo dos 12°C. Já leveduras “lagers” são chamadas de leveduras de fundo com temperatura ótima na faixa 7-13°C.

Leveduras também tendem a flocular após a fermentação, isto é, as células se aglomerarem e sedimentarem no fermentador. Levedos de alta floculação podem sedimentar até mesmo antes de a fermentação acabar, deixando altos níveis de diacetil e até mesmo açúcares fermentescíveis não metabolizados (PALMER, 2006).

### **2.2.5 Adjuntos**

Adjuntos são utilizados na produção de cervejas artesanais para alcançar sabores e aromas especiais. Maltes de outros grãos, ou outros grãos que não a cevada, também podem ser utilizados em conjunto com o malte de cevada. Os mais comuns são o malte de trigo (que não tem casca) e o malte de aveia. Contudo sua utilização é limitada, pois apenas o malte de cevada possui enzimas em quantidade suficiente para decompor o amido dos grãos à açúcares fermentescíveis. Numa “weissbier”, por exemplo, a proporção cevada-trigo costuma ser de 2:3. A Tabela 2 mostra alguns adjuntos e suas utilizações.

Tabela 2: Tipos mais comuns de adjunto e suas utilizações (PALMER, 2006).

Adjunto	Utilização
Malte de trigo	Principal ingrediente em “weissbiers”, pode ser utilizado em até 70% da quantidade total de maltes. Da corpo a cerveja, aumentado a turbidez dando aroma típico do trigo.
Aveia	Utilizada em “stouts” e “porters” visando um paladar suave e sensação cremosa na boca.
Flocos de milho	Utilizados em “American light lagers” para fazer cervejas mais claras e leves dando paladar seco.
Cevada em flocos	Provém proteínas para melhor retenção do colarinho e dar corpo.
Trigo em flocos	Essencial em “belgian lambic” e “witbiers” aumentando a turbidez e maior quantidade de proteínas, também aumenta o sabor do trigo.
Arroz em flocos	Utilizado em cervejas americanas e japonesas, aportam pouco aroma dando um paladar seco.
Açúcar	Adicionado em barras, granel ou em calda, fermenta facilmente. Açúcares em calda ou caramelo também são utilizados para dar coloração (OLIVEIRA, 2014).

### 2.3. O Processo de fabricação

O processo de fabricação de cerveja caseira é, relativamente, mais simples que o processo industrial. Este é composto das seguintes etapas, moagem, mostura, clarificação do mosto, cocção, fermentação, maturação e envase. Se comparado ao processo industrial etapas como a filtração e pasteurização não são comumente feitas, tendo como objetivo uma cerveja “viva”, refermentada na garrafa. A seguir, cada etapa deste processo é brevemente descrita.

### 2.3.1. Moagem

A moagem é a primeira etapa do processo de fabricação de cervejas. Nela os grãos maltados são quebrados deixando o endosperma e o material do embrião livre para a hidrólise dos açúcares. Existe uma relação direta entre o tamanho das partículas pós-moagem e a eficiência do processo. Pequenas partículas estão mais disponíveis para conversão enzimática e para alcançar um alto rendimento rapidamente, porque o contato entre a água e os grãos é máximo. Contudo, com todos os grãos finamente moídos terminar-se-ia com uma espécie de “mingau” e a etapa de clarificação seria prejudicada. Já uma moagem grossa permite uma boa clarificação do mosto, mas não um bom rendimento, pois muitos grãos permanecem intactos, protegidos pelas cascas (BARTH, 2013).

Uma boa moagem tem uma boa relação entre o tamanho de partícula o qual se tem uma boa relação entre extração e clarificação. Uma boa moagem permite a quebra do endosperma enquanto deixa a casca o mais intacta possível, como mostra a Figura 4 (PALMER, 2006).



Figura 4: O malte antes (a) e depois da moagem (b) (BARTH, 2013).

## 2.3.2 Brassagem

### 2.3.2.1 Mostura

Mostura é etapa do processo que consiste na adição de água para hidratar o malte, gelatinizar o amido, ativar as enzimas e promover a conversão em açúcares fermentescíveis. Os principais controles a serem feitos são a temperatura e o pH do meio de mostura. De maneira geral temperaturas superiores a 60°C e inferiores a 75°C, onde há atuação ótima das enzimas, vão permitir a conversão do amido, em uma faixa de pH de mostura na faixa de 5,2 a 5,8 (PALMER, 2006). A Tabela 3 apresenta as principais enzimas, suas temperaturas e pH de ativação.

Tabela 3: Principais enzimas do malte e suas funções (PALMER, 2006):

Enzima	T de ativação	T ótima	pH de ativação	pH ótimo	Função
Beta-glucanase	20-50°C	35-45°C	4,5-6,0	4,5-5,5	Hidrólise da goma de adjuntos não maltados
Proteases	20-65°C	45-55°C	4,5-6,0	5,0-5,5	Solubilização de proteínas insolúveis do malte.
Peptidases	20-67°C	45-55°C	4,5-6,0	5,0-5,5	Produção de nitrogênio livre (FAN) a partir das proteínas solúveis
Alfa-glucosidase	60-70°C	-	4,5-6,0	5,0-5,5	Hidrólise da maltose e açúcares maiores em glicose, efeito ínfimo no rendimento total
Dextrinase	60-67°C	60-65°C	4,8-5,8	4,8-5,4	Hidrólise das dextrinas
Beta-amilase	60-65°C	60°C	5,0-6,0	5,2-5,8	Produção da maltose
Alfa-amilase	60-75°C	65-71°C	4,0-6,0	4,5-5,5	Produção de uma variedade de açúcares e dextrinas incluindo a maltose.

A primeira etapa do processo é a gelatinização, no qual a água aquecida tem que fazer seu caminho entre os grãos para chegar entre os granulos de amido, presos em matriz proteica, para poder separá-las, fazendo com que os grupos OH<sup>-</sup> das moléculas de amido formem ligações de hidrogênio com as moléculas de água ao invés de outras moléculas de amido. Isto porque, enquanto as cadeias de amido estão bem empacotadas em conjunto as enzimas não são capazes de hidrolisar as moléculas. Cada granulo de amido que está no grão

tem sua temperatura ideal de gelatinização, como mostra a Tabela 4, alguns como o milho e o arroz precisam ser pré-cozidos, pois tem alta temperatura de gelatinização (BARTH, 2013).

Tabela 4: Temperatura de gelatinização do amido de alguns grãos (PALMER, 2006)

Grão	Temperatura °C
Cevada	60-65°C
Trigo	58-64°C
Centeio	57-70°C
Aveia	53-59°C
Milho	62-74°C
Arroz	68-78°C

Entre 50-55°C ocorre o repouso proteolítico. hidrolisando algumas proteínas do malte formando peptídeos e até mesmo aminoácidos. Nesta faixa de temperatura que é possível regular a espuma da cerveja e aumentar a quantidade de nitrogênio solúvel na cerveja (MORADO, 2009).

Entre 60-72°C ocorre o repouso de sacarificação. As duas principais enzimas dessa etapa são a alfa-amilase e a beta-amilase. A regulação de temperatura age na atuação dessas duas enzimas determinando o corpo da cerveja. As amilases agem hidrolisando a molécula de amido em compostos de menor cadeia. A decomposição do amido para dextrinas é feita pela alfa-amilase e a decomposição do amido para maltose é feita pela beta-amilase. De forma geral, temperaturas menores, 60-65°C produzem uma cerveja mais leve e atenuável, enquanto maiores temperaturas de mostura, 65-71°C geram mais dextrinas deixando a cerveja menos atenuável (BARTH, 2013).

Ao final do processo pode-se utilizar uma etapa entre 76-78°C, em que ocorre a inativação enzimática, utilizada muitas vezes para estabilizar o resultado desejado, impedindo que as enzimas continuem a atuar durante a filtração do mosto. As temperaturas e atuação das enzimas acima, bem como a relação da atenuação com a temperatura são mostradas na Figura 5.

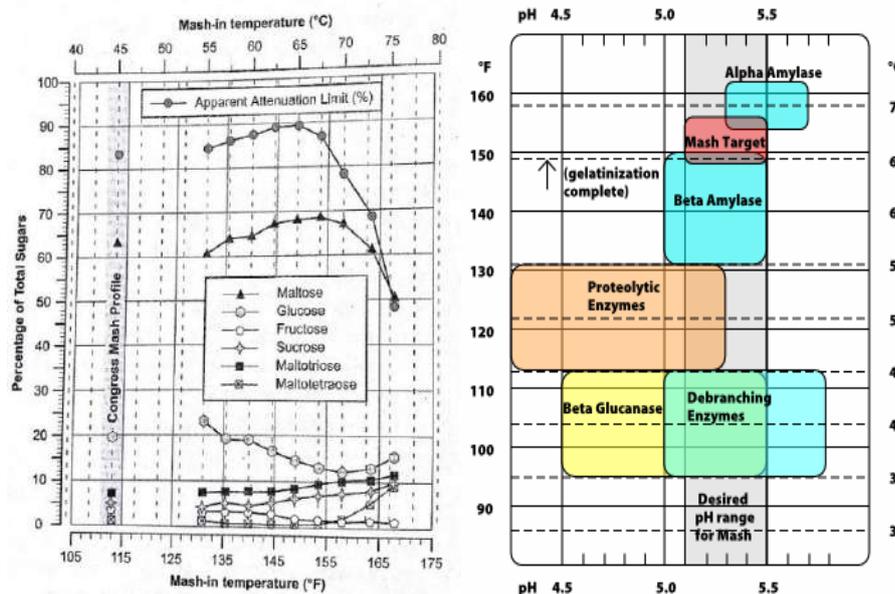


Figura 5: extração de açúcares e ação das enzimas vs temperatura (PALMER, 2006).

Existem algumas maneiras de realizar estes degraus de temperatura, são elas: a mostura por infusão, onde o malte é misturado à água quente para alcançar a temperatura desejada; A mostura por decocção onde parte da mistura água-malte é separada, fervida e retornada para a tina de brassagem; E a mostura por temperatura onde o aquecimento por uma fonte de calor gera o aumento da temperatura (PRIEST e STEWART, 2006).

### 2.3.2.2 Clarificação do mosto

A clarificação ou filtração é a operação de separação do mosto doce do bagaço, resíduo sólido que contém predominantemente as cascas de malte. Esta costuma ser feita em uma tina de clarificação que utiliza um fundo falso servindo de sustentação para o verdadeiro elemento filtrante, que consiste das cascas do malte, permitindo que a água passe pelo meio extraíndo os açúcares e prevenindo o entupimento. Por isso, a importância de uma moagem eficiente. Após a filtração do mosto primário, adiciona-se água ao bagaço, extraíndo boa parte do mosto ainda embebido nas cascas. A temperatura dessa água deve ser superior a 75°C, o que aumenta a fluidez, mas não muito elevada, de modo a evitar extração excessiva de polifenóis, constituintes das cascas (MORADO, 2009).

Durante a filtração é feita a recirculação do mosto até a formação de um meio filtrante consistente. Com isso, o mosto passa a ficar menos turvo, podendo ser direcionado à tina de cocção. Pode ser necessária a repetição desta etapa caso a camada de cascas seja perturbada.

A lavagem contínua ou “fly sparge” é o mais comumente utilizado pelas cervejarias. Ela requer que o mosto seja drenado da tina de filtração lentamente e conforme o nível do tanque cai, é adicionada água quente entre 75-77°C, deixando a camada de grãos sempre coberta. O mais importante é não perturbar o meio filtrante. Esse método de lavagem tem maior eficiência de extração, requer menos água do que a lavagem por batelada, utilizando, aproximadamente a mesma quantidade de água utilizada na mostura. Conforme os açúcares são arrastados da camada de grão, o pH da corrente de saída tende a aumentar, se este vai acima de 6,0 taninos são extraídos da casca, o que pode dar sabores indesejados à cerveja (SCHAEFER, 2012).

### **2.3.2.3 Cocção**

A cocção ou fervura é parte essencial do processo cervejeiro. Consiste em ferver o mosto por aproximadamente 1-2 horas à pressão atmosférica. É também na fervura que o lúpulo é adicionado conferindo amargor e aroma ao mosto. A fervura tem diversos benefícios, entre eles: a sanitização do mosto; a coagulação do excesso de proteínas e taninos, formando um resíduo sólido de fundo, chamado de “trub” quente o que é importante para a estabilidade do colarinho; a formação de cor e sabor; e a remoção de compostos voláteis indesejados como o dimetil sulfito (DMS) por evaporação (PRIEST e STEWART, 2006).

Talvez o fator mais importante da fervura seja a extração de compostos amargos e óleos essenciais do lúpulo dependendo do tempo de adição. Existem quatro tipos de adição de lúpulo: para amargor, aroma, finalização e lupulagem a seco. A utilização primária do lúpulo é para o amargor, estes são fervidos de 45 a 90 minutos para isomerizar os alfa-ácidos. O intervalo mais comum é de 60 minutos, pois só há um ganho em média de 5% no amargor entre 45 e 90 minutos. Os óleos essenciais de lúpulos utilizados nessa etapa evaporam, por isso costuma-se utilizar lúpulos com alto percentual de alfa-ácidos e com baixas características de aroma (PALMER, 2006).

Para dar sabor utiliza-se um meio termo entre isomerização e evaporação dos aromáticos. Lúpulos de aroma são adicionados entre 15 e 30 minutos antes do final da fervura.

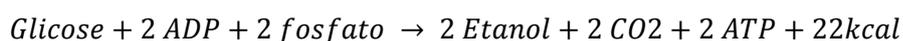
Qualquer lúpulo pode ser utilizado, mas dá-se normalmente preferência para lúpulos com baixo teor de alfa-ácidos, podendo-se inclusive combinar diversos tipos de lúpulo para criar um perfil aromático mais complexo. Também é possível adicionar lúpulos de finalização, estes são adicionados no final da fervura, assim muito pouco se perde dos óleos essenciais retendo uma grande fração de aroma sendo adicionado de 5 a 15 minutos antes do final da fervura (PALMER, 2006).

A lupulagem a seco, ou “dry hop”, é uma técnica de adição de lúpulo durante a fermentação ou na etapa de maturação, de três dias a duas semanas. Isso permite que os óleos essenciais fiquem retidos integralmente na cerveja. A lupulagem a seco contribui para o aroma e sabor não alterando em nada o amargor da bebida. É importante escolher lúpulos com alto teor de óleos essenciais para criar um alto perfil aromático. A adição é feita apenas após o fim da fermentação primária, pois uma fermentação vigorosa pode carrear muitos dos compostos aromáticos para fora do fermentador (SCHAEFER, 2012).

Ao fim da fervura, o mosto amargo, como é chamado, é resfriado a 20-25°C, transferido para o tanque de fermentação, aerado e inoculado com a levedura.

### **2.3.3 Fermentação**

A fermentação é a etapa na qual o mosto se transforma em cerveja. Diz-se “Cervejeiros fazem o mosto, leveduras fazem cerveja” (WHITE e ZAINASHEFF, 2010). Esta afirmação é verdade, mas existe um grande controle por parte dos cervejeiros sobre como a levedura vai produzir sua cerveja, quais métodos e medidas de controle. A cerveja é feita pela conversão do açúcar presente no mosto em novas células, etanol, gás carbônico e compostos aromáticos. A reação de fermentação é de acordo com a equação de Gay-Lussac (WHITE e ZAINASHEFF, 2010).



A fermentação se divide em três fases básicas, que são as mesmas do metabolismo das leveduras. A fase de “lag”, onde há a aclimação das leveduras no meio, a fase exponencial do crescimento, também chamada de fermentação primária, e a fase estacionária, onde ocorre a chamada fermentação secundária. A Figura 6 mostra, de maneira geral, a evolução da fermentação e seus parâmetros principais (WHITE e ZAINASHEFF, 2010).

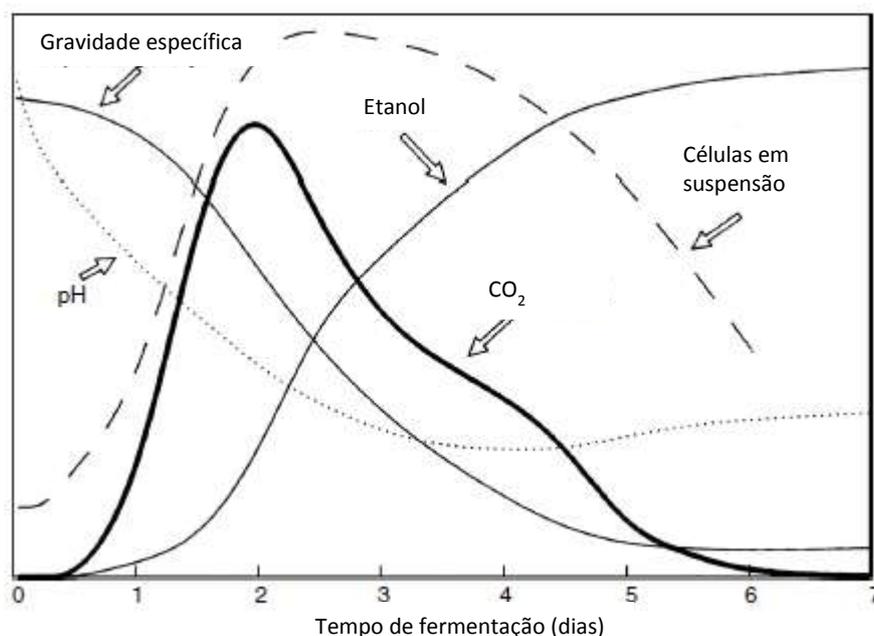


Figura 6: A cinética da fermentação (PRIEST e STEWART, 2006).

Existem quatro fatores importantes para uma boa fermentação: boa qualidade de mosto, aeração inicial, quantidade suficiente de leveduras e a temperatura. É essencial para uma boa qualidade da fermentação a disponibilidade inicial de oxigênio e nitrogênio, pois durante a fase de “lag” as leveduras vão rapidamente absorver todo o oxigênio (por isso a importância de aerar o mosto antes de inocular), que será importante para produção de alguns compostos como esteróis, que são críticos para a permeabilidade da membrana celular. A temperatura controlada na faixa de atuação da levedura utilizada ou levemente superior, e a quantidade de leveduras saudáveis, ou viabilidade celular, deve ser maior quanto maior for a quantidade de açúcares (WHITE e ZAINASHEFF, 2010).

A fase exponencial começa logo após o fim da fase de “lag”. Nesta, a levedura começa a consumir os açúcares em solução, produzindo álcool, CO<sub>2</sub> e compostos aromáticos, alguns deles indesejáveis como o diacetil. Ela pode durar de quatro horas a quatro dias. A levedura começa consumindo açúcares simples e passando para açúcares mais complexos conforme a necessidade. O principal açúcar do mosto é a maltose, presente em teores de até 60% dos açúcares totais (MORADO, 2009). O açúcar mais complexo digerido é a maltotriose. É a capacidade de fermentação desse tipo de açúcar que costuma determinar a atenuação da levedura. De uma forma global, quanto mais flocoento é o levedo menor sua capacidade de

utilização desse açúcar. Conforme o açúcar começa a acabar, as leveduras começam a flocular dando início a fermentação secundária (WHITE e ZAINASHEFF, 2010).

Após a fermentação inicia-se a maturação. Já foram produzidos quase todos compostos aromáticos, tais como, álcoois, ésteres e compostos sulfurados. A cerveja nessa etapa é chamada de “cerveja verde”, uma vez que ainda não foi alcançado o balanço ideal de sabores. A levedura começa a reabsorver o diacetil e o acetaldeído produzidos durante a fermentação, que são responsáveis por sabores indesejados. É igualmente comum resfriar a cerveja nessa fase a temperaturas abaixo de 5°C, este processo pode durar de três a dez dias (PALMER, 2006).

### 2.3.4 Envase

Ao final da maturação, a cerveja já possui quase todas as características esperadas e está pronta para ser envasada. Neste momento existem duas opções: o envase em barris ou em garrafas. O envase pode ser feito em barris em sistema de pressurização com CO<sub>2</sub>. Para esses sistemas, basta colocar no barril e servir numa choppeira. Para muitos cervejeiros artesanais a maneira de gerar o gás nas garrafas ou barris é a adição de mais açúcar para nova atuação do residual de levedura que encontra-se suspenso na bebida, o que recebe o nome de “priming”. Este pode vir das mais variadas fontes e irá refermentar a cerveja dentro do recipiente fechado gerando todo o gás carbônico do produto final.

A quantidade de gás carbônico é medida pelo grau de carbonatação de CO<sub>2</sub>. Cada estilo de cerveja tem sua faixa de carbonatação em volumes de CO<sub>2</sub>, como mostra a Figura 7.

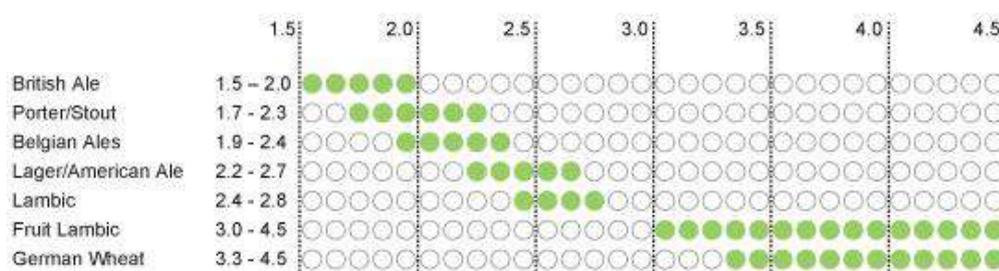


Figura 7: Carbonatação por estilo em volumes de CO<sub>2</sub> (Disponível em Home Brew Manual)

Fazendo o cálculo para carbonatações de 2,0-3,0 volumes de CO<sub>2</sub>, chega-se à conhecida faixa de 5 a 8 gramas de CO<sub>2</sub> por litro de cerveja para “Ales”, cuja temperatura de fermentação é de, aproximadamente, 20°C. Este cálculo é válido para açúcares simples, caso

o “priming” seja realizado com outras fontes de açúcar, a conversão pode ser feita igualando o produto da massa, porcentagem de sólidos e fermentabilidade de cada açúcar. A Tabela 5 mostra os valores de porcentagem de sólidos e fermentabilidade de alguns açúcares comumente utilizados (PALMER, 2006).

Tabela 5: Conversão de açúcares (PALMER, 2006)

Açúcar	% de sólidos	Fermentabilidade
Açúcar de cana	100%	100%
Açúcar mascavo	~95%	~97%
Açúcar de milho	92%	100%
Açúcar invertido	100%	100%
Xarope de Maple	67%	100%
Mel	80%	95%
Extrato de malte seco (DME)	90%	~75%

## 2.4. BeerSmith®

Beersmith® é um “software” americano de elaboração de receitas de cerveja criado por Brad Smith. Por ter uma base de dados muito boa e sempre atualizável, além de apresentar diversas funções que auxiliam o mestre cervejeiro, é uma ferramenta poderosa utilizada na árdua tarefa de criação de receitas.

Esta base de dados contém informações indispensáveis sobre matérias primas de diversos fornecedores, do processo, além de fóruns de discussões, artigos “online” e mais comentários sobre matérias-primas, como lúpulos, grãos, adjuntos e água, e sobre a levedura cervejeira. Além disso, possui um perfil detalhado dos principais estilos de cerveja no mundo. Na parte de controle da cervejaria, possui uma busca de receitas de outros cervejeiros, o controle de estoque, o carrinho de compras, calendário de processo e uma grande quantidade de outras ferramentas.

Algumas das ferramentas utilizadas neste projeto são: cálculo da água de infusão para a etapa de mostura, volume de líquido evaporado durante a cocção do mosto, ajuste de densidade pós mostura por adição de extratos de malte, cálculo de inoculação de leveduras, ajustes de densidade com variação de temperatura, auxílio de leitura de refratômetro, cálculo de teor alcóolico, estimativa de amargor, taxa de envelhecimento do lúpulo e perda de potencial de amargor, cálculos de diluição, e quantidade de açúcares para a carbonatação.

Além das ferramentas de processo, é igualmente possível utilizar o conversor de unidades para temperaturas, gravidade específica, pressão, massa e volume. A maioria das ferramentas acima é utilizada automaticamente durante a criação de uma nova receita e irá auxiliar no cálculo dos diversos parâmetros de processo citados durante a Revisão Bibliográfica e demonstrados na seção “Cálculos de processo”.

## 2.5. Cálculos de processo

### 2.5.1. Brassagem

#### 2.5.1.1. Poder diastático

O poder diastático, ou poder enzimático, de um malte é dado em graus Lintner. Para ser considerado de auto conversão, um malte deve ter pelo menos 35°Lintner. Para calcular o grau Lintner teórico de um conjunto de maltes e adjuntos numa brassagem, utiliza-se a média ponderada dos respectivos poderes diastáticos e massa utilizada, como mostra a equação (1).

$$^{\circ}L_{tit} = \frac{\sum(^{\circ}L_{ti} * m_i)}{\sum m_i} \quad (1)$$

Onde:

$^{\circ}L_{ti}$  = poder diastático do grão i em graus Lintner;

$m_i$  = massa do grão i em quilogramas;

$^{\circ}L_{tit}$  = poder diastático total em graus Lintner.

#### 2.5.1.2. Gravidade específica e Eficiência

A gravidade específica é a densidade do mosto medida com um densímetro e é função do tipo de grãos presentes e da razão cereal:água adotada. Esta pode ser calculada a partir do potencial de um grão que nada mais é que a densidade gerada, em g/cm<sup>3</sup>, para utilização de uma libra de grão (0,4536 kg) diluída em um galão (3,79 L) (SMITH, 2015). O potencial de um grão é calculado como um rendimento relativo ao potencial do açúcar puro, 1,046 g/cm<sup>3</sup>, que é o mesmo que dizer 46 pontos/libra/galão ou 46 pontos potenciais de gravidade específica (ppg). As equações (2), (3) e (4) apresentam os cálculos dos pontos potenciais de gravidade

específica, pontos totais de gravidade específica e a gravidade específica a partir da quantidade e dos grãos utilizados, respectivamente.

$$ppgi = \eta_i * 46 \quad (2)$$

$$ptg = 3,79/0,4536 * \sum (\varepsilon * ppgi * \left(\frac{mi}{V}\right)) \quad (3)$$

$$SG = 1 + \frac{ptg}{1000} \quad (4)$$

Onde:

$\eta_i$  = rendimento de um grão ou adjunto  $i$ ;

$m_i$  = massa de  $i$  em quilogramas;

$V$  = volume total da etapa em litros;

$ppgi$  = pontos potenciais de gravidade específica de  $i$ ;

$\varepsilon$  = eficiência de brassagem ou mostura;

$ptg$  = pontos totais de gravidade específica;

$SG$  = gravidade específica em  $g/cm^3$ .

A eficiência, que pode ser calculada tanto para a etapa de mostura quanto para a brassagem como um todo. Ela é um dado experimental que varia para cada equipamento e receita. Esta vai indicar o quanto de açúcar foi extraído dos grãos em relação à extração teórica, lembrando que qualquer açúcar adicionado diretamente após a mostura terá rendimento igual a 1, pois este estará integralmente disponível, não passando por nenhuma etapa de separação, hidrólise e precipitação por calor. Para calcular a eficiência de extração dos grãos, a partir de uma gravidade específica medida experimentalmente, basta inverter a equação (3), excluindo a contribuição de eventuais açúcares para a densidade, como mostra a equação (5).

$$\varepsilon = \frac{ptg - 8,3554 * \sum(46 * \left(\frac{ma}{V}\right))}{8,3554 * \sum(ppgi * \left(\frac{mi}{V}\right))} \quad (5)$$

Onde:

$ma$  = massa de açúcar em quilogramas.

### 2.5.1.3. Cor da cerveja (EBC)

A cor da cerveja é estimada utilizando duas equações empíricas: a estimativa da unidade de cor de malte, ou “Malt color unit” (MCU), e a equação de Morey, que é uma boa aproximação para cervejas com cores menores que 50 SRM, equivalente a aproximadamente 100 EBC. A equação MCU de origem utiliza a cor do malte em graus Lovibond ( $^{\circ}L$ ), para isso precisa-se realizar a conversão de unidades empíricas mostradas na equação (6) (SMITH, 2008). A estimativa da MCU é dada pela equação (7) que pondera a quantidade de malte utilizada, em libra (0,4536 kg) por galão (3,79 L).

$$^{\circ}L = \frac{(0,508 * EBC + 0,76)}{1,3546} \quad (6)$$

$$MCU = 8,3554 * ^{\circ}L * \frac{m_i}{V} \quad (7)$$

Onde:

EBC = cor do grão medida na unidade “European Beer Color” EBC;

$^{\circ}L$  = cor do grão em graus Lovibond;

MCU = cor do grão em unidades de cor de malte;

$m_i$  = massa do grão  $i$  utilizada em quilogramas;

$V$  = volume final de cerveja;

Calcula-se, então, a soma das MCU’s de cada malte ou açúcar utilizados. Para maltes levemente caramelizados, faz-se uma correção empírica de 20% ao MCU. A cor em EBC final é dada pela equação de Morey (8) adaptada para EBC (SMITH, 2014):

$$Cor da cerveja (EBC) = 2,94 * \left( \sum MCU \right)^{0,6859} \quad (8)$$

#### 2.5.1.4. Temperatura de infusão para mostura

Para alcançar-se a temperatura de um degrau de mostura definido, utiliza-se a técnica de infusão, que nada mais é do que a adição de uma quantidade de água previamente aquecida à massa de grãos em uma tina de alumínio. Sabendo que o calor específico do malte e do alumínio são Tabelados, 0,38 cal/g°C e 0,21 cal/g°C, respectivamente, tem-se para a água, tina e malte a equação da troca de calor simplificada, demonstrada na equação (9).

$$T_a = \frac{M_m * C_m * (T_f - T_m) + M_p * C_p * (T_f - T_p)}{M_a * C_a} + T_f \quad (9)$$

Onde:

M = massa em quilogramas;

C = calor específico em cal/g°C;

T = temperatura em °C;

f = valor final;

a = água;

m = malte;

p = panela ou tina.

#### 2.5.1.5. Amargor

Não existe ainda uma maneira quantitativa e prática de medir o sabor e o aroma que o lúpulo aporta às cervejas. Quanto ao amargor, este pode ser estimado por uma medida de IBU (*"International Bitterness Unit"*) que estima o amargor oferecido pelo lúpulo às cervejas. Para calculá-lo, existem algumas fórmulas empíricas. As mais conhecidas são as fórmulas de Garetz, Rager e Tinseth, onde o ponto comum entre todas é que o amargor depende da quantidade de lúpulo utilizada, da porcentagem de alfa-ácidos em sua composição e do tempo de fervura.

A fórmula de Tinseth, equação (11), é mais completa e possui três principais parâmetros calculados: a concentração de alfa-ácidos, em miligramas por litro, e dois fatores empíricos, o fator de gravidade, que leva em consideração a densidade inicial do mosto, e o fator de cocção, pois como dito na seção sobre o lúpulo, quão maior o tempo de fervura maior a isomerização dos alfa-ácidos. O aumento desse fator é irrelevante para tempos superiores a noventa minutos, uma vez que a isomerização já está praticamente completa. A equação

(10.1) indica a contribuição para o amargor da quantidade de lúpulo utilizada e do teor de alfa ácidos deste, enquanto a equação (10.2) pesa a contribuição da gravidade inicial para o amargor, já a equação (10.3) pondera a contribuição do tempo de fervura (SORENSEN, 2014) (Disponível em Rock Hoppers Brew Club).

$$C\alpha = \frac{\% \alpha * m_i * 1000}{V} \quad (10.1)$$

$$Fg = \left( (1,65) 0,000125^{(OG-1)} \right) \quad (10.2)$$

$$Fc = \left( \frac{1 - e^{-0,04t}}{4,15} \right) \quad (10.3)$$

$$IBU = C\alpha * Fg * Fc = \frac{1000(\alpha * m)(1,65)0,000125^{(OG-1)} * \left( \frac{1 - e^{-0,04t}}{4,15} \right)}{V} \quad (11)$$

Onde:

$\alpha$  = percentual de alfa-ácidos do lúpulo;

$m_i$  = massa do lúpulo  $i$  em gramas;

$V$  = volume final de cerveja em litros;

$C\alpha$  = concentração de alfa-ácidos em miligramas por litro;

$OG$  = gravidade específica inicial do mosto;

$Fg$  = Fator de gravidade específica;

$t$  = tempo de fervura em minutos;

$Fc$  = Fator de cocção.

## 2.5.2. Fermentação

### 2.5.2.1. Atenuação aparente

A atenuação é a porcentagem de açúcar do malte que é convertido pela levedura a etanol e dióxido de carbono. A maioria dos levedos tem faixa de atenuação entre 67-78% (MILLER, 2012). Este parâmetro é calculado a partir das densidades específicas medidas, como indica a equação (12).

$$At = 100 * \frac{OG - FG}{OG - 1,0} \quad (12)$$

Onde:

$At$  = atenuação em % m/m;

OG/FG = gravidade específica inicial/final em g/cm<sup>3</sup>.

### 2.5.2.1. Gravidade específica Final (FG)

Um dos parâmetros que vai definir o andamento da fermentação é a gravidade da cerveja. Além do mais, com a medição deste parâmetro, outros valores teóricos importantes podem ser calculados, como a atenuação e o teor alcóolico. Para estimar a gravidade final dois parâmetros são essenciais, o primeiro é o potencial de atenuação da levedura e o segundo é o potencial adicional relativo à temperatura de mostura. O primeiro fator pode ser calculado, de forma aproximada, a partir dos valores de referência, normalmente disponíveis para levedos industriais, como indica a equação (13).

$$Atl = \frac{Atl\ min + Atl\ max}{2} \quad (13)$$

Onde:

Atl = atenuação da levedura fornecida em % (m/m).

O segundo fator vem do fato que o percentual de atenuação de uma levedura é calculado a partir de um certo perfil de açúcares em solução. Caso a temperatura de brassagem seja menor que 67,5°C (valor empírico), há tendência maior de atuação de  $\beta$ -amilases, o que forma açúcares mais simples e fermentescíveis, podendo assim, aumentar o potencial de atenuação final da cerveja. No BeerSmith® estima-se um fator de mostura de -1,25%/°F na atenuação final acima de 153,5°F (67,5°C) e +1,25%/°F para temperaturas inferiores, equação (15). Calcula-se, primeiramente, a temperatura média de mostura, equação (14), utilizando uma média ponderada entre a temperatura e tempo do degrau. Sendo, assim, o potencial de atenuação relativo às temperaturas de mostura é estimado e acrescentado à atenuação da levedura, resultando na atenuação aparente teórica, como mostra a equação (16).

$$Tm = \frac{\sum Ti * ti}{\sum ti} \quad (14)$$

$$Atm = (Tm - Tc) * (-1,25) \quad (15)$$

$$At = Atl + Atm \quad (16)$$

Onde:

$T_m$  = temperatura média de mostura em °F;  
 $T_i$  = temperatura do degrau de mostura em °F;  
 $t_i$  = tempo de duração do degrau de mostura em minutos;  
 $A_{tm}$  = atenuação de mostura em % (m/m);  
 $T_c$  = Temperatura central = 153,5 °F.

Tem-se então o percentual de atenuação aparente total da cerveja em questão, podendo-se estimar, então, a gravidade específica final ( $FG_{gest}$ ), pela fórmula da atenuação apresentada anteriormente (equação 12), isolando a gravidade específica final como mostra a equação 17).

$$FG_{gest} = OG - \frac{At}{100} * (OG - 1) \quad (17)$$

### 2.5.2.3. Teor alcoólico por volume e por massa (ABV% e ABW%)

Com a gravidade específica final estimada pode-se então, finalmente, obter o percentual alcoólico, por massa e por volume, gerado no processo, a partir das gravidades inicial e final medidas. Estas fórmulas são obtidas considerando o cálculo da atenuação real, equação (19), que desconsidera a contribuição do álcool para a densidade final, a partir do valor da gravidade específica em °Plato, cujas conversões são apresentadas nas equações (18.1) e (18.2), das massas moleculares do etanol e da glicose e densidade do etanol (ZYMURGY, 1995).

$$^{\circ}P = -668.962 + 1262.45 * SG - 776.43 * SG^2 + 182.94 * SG^3 \quad (18.1)$$

$$SG = 1 + 0.0038661 * ^{\circ}P + 1.3488 * 10^{-5} * ^{\circ}P^2 + 4.3074 * 10^{-8} * ^{\circ}P^3 \quad (18.2)$$

$$RG(^{\circ}P) = 0.8114 * FG(^{\circ}P) + 0.1886 * OG(^{\circ}P) \quad (19)$$

Onde:

SG = gravidade específica em g/cm<sup>3</sup>;

°P = gravidade em graus Plato, % (m/m);

RG = gravidade específica real em graus Plato.

A partir das massas moleculares da molécula de glicose, de etanol e a estequiometria da reação de Gaylussac 1:2, tem-se, então o cálculo do teor alcóolico em porcentagem mássica (ABW%), mostrado pela equação (20).

$$ABW\% = \frac{92}{180} * (OG(^{\circ}P) - RG(^{\circ}P)) \quad (20)$$

Contudo, a reação de fermentação não é tão simples assim, pois existem subprodutos e reações indesejadas que contribuem para o teor alcóolico, Balling chegou a seguinte equação empírica do teor alcóolico em porcentagem mássica, equação (21) (ZYMURGY, 1995).

$$ABW\% = \frac{OG(^{\circ}P) - RG(^{\circ}P)}{2,0665 - 0,010665 * OG(^{\circ}P)} \quad (21)$$

A gravidade específica do etanol é 0,794 g/cm<sup>3</sup>, obtém-se então o teor alcóolico em percentual volumétrico, ou ABV%, mostrado na equação (22) (ZYMURGY, 1995).

$$ABV\% = ABW\% * \left(\frac{FG}{0,794}\right) \quad (22)$$

Alguns cervejeiros utilizam uma fórmula simplificada para o cálculo do percentual alcóolico volumétrico, equação (23), utilizando em seguida a equação (22) para obter o percentual alcóolico mássico, a partir do percentual volumétrico (PAPAZIAN, 2003).

$$ABV\% = \frac{OG - FG}{131,25} \quad (23)$$

### 2.5.3. Envase

#### 2.5.3.1. Carbonatação

Para o envase faz-se a refermentação em garrafa, com adição de alguma fonte de açúcar. Para o cálculo da quantidade de açúcar necessária na adição, precisa-se saber o volume dissolvido de CO<sub>2</sub> na cerveja, que é diretamente relacionado à temperatura de fermentação, mostrado na equação (24). Este pode ser obtido através da lei de Henry. De maneira geral, quão menor a temperatura mais CO<sub>2</sub> dissolvido (MCGILL, 2006).

$$Vd = 1,7077392 - 0,05952024 * T + 0,000860382 * T^2 \quad (24)$$

Onde:

Vd = volume, em litros, de gás carbônico dissolvido por litro de cerveja;

T = temperatura de fermentação em °C;

O cálculo da quantidade de glicose a ser adicionada é feito a partir da estequiometria da reação de fermentação, equação (26.1) e (26.2), sabendo que o volume a ser produzido de CO<sub>2</sub> é dado pela diferença entre a carbonatação desejada e o volume de CO<sub>2</sub> dissolvido, equação (25)

$$Va = Carb - Vd \quad (25)$$

$$Cg = Va * \frac{1 \text{ (mol CO}_2\text{)}}{22,414 \text{ (L CO}_2\text{)}} * \frac{44,01 \text{ (g CO}_2\text{)}}{1 \text{ (mol)}} * \frac{180,16 \text{ (g glicose)}}{88,02 \text{ (g de CO}_2\text{)}} \quad (26.1)$$

$$Cg = 4,019 * Va \quad (26.2)$$

Onde:

Carb = volume de carbonatação em litros de CO<sub>2</sub> por litro de cerveja;

Va = volume, em litros, adicional de CO<sub>2</sub> por litro de cerveja para atingir a carbonatação desejada;

Cg = concentração de glicose a ser adicionada em gramas por litro;

Para medição da carbonatação com a utilização de um manômetro é igualmente possível conhecer a pressão obtida, em Bar, a partir da quantidade de açúcar e temperatura da cerveja no momento, utilizando a equação empírica de Hobbybrauer (Disponível em Braukaiser).

$$P = \frac{Cg}{\left(2.71828182845904^{\left(-10.73797 + \frac{2617.25}{(Tc+273.15)}\right)}\right) * 10} - 1,013 \quad (27)$$

Onde:

Tc = temperatura da cerveja em °C;

P = pressão da garrafa em Bar;

## 3. Metodologia

O trabalho foi dividido em três etapas, desenvolvimento teórico, desenvolvimento experimental e análises. Na primeira etapa, todos os parâmetros importantes para elaboração de uma receita foram calculados, bem como a receita foi elaborada no BeerSmith®. No desenvolvimento experimental todas as etapas do experimento foram descritas tal qual foram seguidas. Os resultados experimentais de alguns parâmetros foram obtidos nas análises, como teor alcóolico, atenuação e porcentagem de extrato foram determinados para serem posteriormente confrontados com os dados obtidos teoricamente.

### 3.1. Desenvolvimento e cálculos teóricos

#### 3.1.1. A escolha do estilo

O primeiro passo da elaboração de uma receita é a escolha do estilo de cerveja que se deseja produzir. Existem mais de 80 tipos de cerveja classificados em 23 grupos segundo o *BJCP 2008 (Beer judge certification program)*. Este programa define padrões de aroma, aparência, sabor, gosto, ingredientes, cor, entre outros, para cada estilo de cerveja e é uma importante ferramenta de padronização dos estilos, o que facilita a elaboração de uma receita cervejeira.

O estilo escolhido, arbitrariamente, para a cerveja a ser produzida neste trabalho foi “Belgian Blond Ale”, que possui as seguintes características (adaptado de BJCP, 2008):

- Aroma: Leve aroma terroso ou condimentado de lúpulo, acompanhado de uma suave característica adocicada do malte Pilsen. Apresenta um sutil caráter proveniente das leveduras, que pode incluir subprodutos de fermentação, ou ésteres frutados e com caráter comumente parecidos com laranja e limão. Doçura leve, que pode possuir uma ligeira característica similar ao açúcar. Sutil, mas ainda complexo.

- Aparência: Coloração que varia do dourado claro ao profundo. Geralmente muito límpida. Colarinho de branco a quase branco, abundante, denso e cremoso, com boa retenção.

- Sabor: Suave, inicialmente apresenta uma doçura leve a moderada característica do malte Pilsen, mas finaliza de médio-seca a seca e com sensação de álcool suave se tornando evidente no retrogosto. Amargor médio do lúpulo e do álcool para equilibrar. Leve sabor de lúpulo, que pode ser condimentado ou terroso. Características provenientes da levedura extremamente amenas (formação de ésteres que são por vezes perfumados ou similares a laranja e limão). Algum leve dulçor caramelado ou similar a mel perceptível no palato.

- Sensação na boca: Carbonatação de médio-alta a alta, podendo dar uma sensação de preenchimento da boca com bolhas. Corpo médio. Sensação quente de álcool de leve a moderada, mas ainda suave. Pode ser um pouco cremosa.

- Impressão Geral: Uma ale dourada de força moderada, levemente adocicada, com final seco.

- Comentários: Robustez similar à de uma Dubbel, características similares a uma Belgian Strong Golden Ale ou Tripel, embora um pouco mais adocicada e de menor amargor. Frequentemente possui uma característica quase similar a uma “lager”, que a proporciona um perfil límpido em comparação aos outros estilos. Os belgas usam o termo “blond”, enquanto os franceses soletram “blond”. A maioria dos exemplos comerciais possui uma variação de álcool por volume entre 6,5% a 7,5%. Muitas cervejas de mesa Trapistas (Singles ou Enkels) são chamadas de “Blond”, mas não são representantes deste estilo.

- Ingredientes: Malte Pilsen belga, maltes aromáticos, açúcar, linhagens de leveduras belgas que produzem álcoois complexos, ésteres perfumados, lúpulos nobres, como Styrian Goldings ou East Kent Goldings. Nenhuma especiaria é normalmente utilizada, entretanto os ingredientes e os subprodutos da fermentação podem dar esta impressão de condimentada.

Características: A cor deve estar na faixa de 7,9 a 13,8EBC; a gravidade específica inicial entre 1,062 e 1,075 g/cm<sup>3</sup> e a gravidade específica final 1,008 e 1,018 g/cm<sup>3</sup>; o amargor tem valores usuais entre 15 e 30 IBU e o teor alcóolico volumétrico no mínimo 6% e no máximo 7,5%.

### 3.1.2. Matérias primas e agente da fermentação

#### 3.1.2.1. Maltes

O BeerSmith® possui uma ampla base de dados de grãos. A pesquisa de um grão pode ser feita pela sua origem, cor, potencial de densidade do mosto e quantidade máxima aconselhada por batelada. Informações como o preço e quantidade em estoque também estão presentes. Cada grão ou adjunto selecionado possui uma ficha, que pode ser alterada, e novos grãos também podem ser adicionados manualmente. Esta lista pode ser vista na Figura 8.

The screenshot shows the BeerSmith software interface. On the left, a table lists various grains. The 'Pale Malt (Weyermann)' entry is highlighted. On the right, a detailed view for this malt is shown, including its yield, potential, color, and other brewing parameters.

Name	Origin	Type	Color	Potential	Ma
Pale Ale Malt 2-Row (Briess)	US	Grain	6,9 EBC	1,037 SG	100
Pale Liquid Extract	US	Extract	15,8 EBC	1,036 SG	100
Pale Malt (2 Row) Bel	Belgium	Grain	5,9 EBC	1,037 SG	100
Pale Malt (2 Row) UK	United Kingd...	Grain	5,9 EBC	1,036 SG	100
Pale Malt (2 Row) US	US	Grain	3,9 EBC	1,036 SG	100
Pale Malt (6 Row) US	US	Grain	3,9 EBC	1,035 SG	100
<b>Pale Malt (Weyermann)</b>	<b>Germany</b>	<b>Grain</b>	<b>6,5 EBC</b>	<b>1,038 SG</b>	<b>100</b>
Pale Malt, 2 row (Sambrinus)	Canada	Grain	3,9 EBC	1,038 SG	100
Pale Malt, Maris Otter	United Kingd...	Grain	5,9 EBC	1,038 SG	100
Peat Smoked Malt	United Kingd...	Grain	5,5 EBC	1,034 SG	200
Pilsen Alemão Globalmalt	Alemanha	Grain	3,7 EBC	1,038 SG	100
Pilsen Argentino Cargill	Argentina	Grain	4,0 EBC	1,037 SG	100
Pilsen Malt 2-Row (Briess)	US	Grain	2,0 EBC	1,037 SG	100
Pilsner (2 Row) Bel	Belgium	Grain	3,9 EBC	1,036 SG	100
Pilsner (2 Row) Ger	Germany	Grain	3,9 EBC	1,037 SG	100
Pilsner (2 Row) UK	United Kingd...	Grain	2,0 EBC	1,036 SG	100
Pilsner (2 row) (Gambrinus)	Canada	Grain	3,2 EBC	1,038 SG	100
Pilsner (Weyermann)	Germany	Grain	3,3 EBC	1,038 SG	100
Pilsner Liquid Extract	US	Extract	6,9 EBC	1,036 SG	100
Rice Extract Syrup	US	Extract	13,8 EBC	1,032 SG	150
Rice Hulls	US	Adjunct	0,0 EBC	1,000 SG	5,0
Rice Hulls (Briess)	US	Adjunct	0,0 EBC	1,000 SG	5,0
Rice, Flaked	US	Grain	2,0 EBC	1,032 SG	250
Rice, Flaked (Briess)	US	Grain	2,0 EBC	1,032 SG	250

<b>Pale Malt (Weyermann)</b>	
Germany Weyermann	
<b>Yield:</b> 82,23 %	<b>Type:</b> Grain
<b>Potential:</b> 1,038	<b>Color:</b> 6,5
<b>Coarse Fine Diff:</b> 1,50 %	<b>Max In Batch:</b> 100,0 %
<b>Moisture:</b> 4,40	<b>Mast Mash:</b> TRUE
<b>Diastatic Power:</b> 100,0	<b>Protein:</b> 10,1
<b>Inventory:</b> 10,90 kg	<b>IBU:</b> 0,0
<b>Notes:</b> Pale base malt for all ales and lagers. Good general purpose malt.	
Created with BeerSmith	

Figura 8: Banco de dado de grãos (Fonte: BeerSmith®).

Na escolha dos grãos, os principais fatores utilizados foram o poder de conversão enzimática, ou diastático, a cor e o aroma. Maltes modernos possuem alto poder de conversão e maltes comumente denominados maltes de base como o Pale Ale ou o Pilsen estão presentes em maior proporção nas receitas, especialmente para cervejas claras. Aqui optou-se pela utilização do malte Pale Ale alemão da maltaria Weyermann.

Para trabalhar o aroma, o sabor adocicado característico do estilo, e conferir cor mais dourada à cerveja, foi escolhido o malte Honey, como adicional, que possui uma doçura intensa, muitas vezes associada ao mel. Este malte possui menor poder diastático em relação

ao malte base, por isso sua utilização máxima aconselhada para brassagens padrões é de no máximo 20% m/m. A Tabela 6 mostra algumas das características dos maltes escolhidos.

Tabela 6: Características dos maltes escolhidos (Fonte: BeerSmith®).

Malte	Pale Ale (Weyermann)	Honey (Gambrinus)
Eficiência	82,23%	83,00%
Potencial	1,038	1,038
Cor	6,5 EBC	52,3 EBC
Proteínas (%m/m)	10,1%	11,5%
Máximo por batelada	100%	20%
Poder diastático	100 Lintner	50 Lintner

### 3.1.2.2. Lúpulos

O BeerSmith® possui igualmente um banco de dados com mais de 120 variedades de lúpulos. Neste banco pode-se pesquisar lúpulos pela origem, teor de alfa-ácidos e forma de utilização como mostra a Figura 9. Destes, dois foram escolhidos para a receita elaborada.

The screenshot shows the BeerSmith software interface. On the left, a table lists various hop varieties with columns for Name, Origin, Alpha, Type, Inventory, and Price. The 'East Kent Goldings (EKG)' variety is highlighted. On the right, a detailed view for 'East Kent Goldings (EKG)' is displayed, including its origin (United Kingdom) and various characteristics:

- Alpha:** 5,00 %
- Beta:** 3,50 %
- HSI:** 35,00 % per 6 months
- Type:** Both
- Form:** Pellet
- Inventory:** 15,00 g

Additional information includes a note that it is also known as Canterbury Hops, its use for English Ale, Porter, Scottish and Irish Ale, Stout, Strong Ale, ESB, Saison, and Barleywine, and its storage requirements (Good/Fair 965-80% AA after 6 months at 20 C).

Figura 9: Banco de dado de lúpulos (Fonte: BeerSmith®).

Para o estilo adotado, escolheu-se um lúpulo nobre como requerido, com médio amargor, e utilizado tanto para dar amargor quanto aroma à cerveja, chamado East Kent Goldings. Este lúpulo inglês é utilizado para prover aroma floral, terroso, ligeiramente adocicado.

Outro objetivo foi trabalhar o aroma frutado cítrico, para isso utilizou-se a técnica de “dry-hop”, ou lupulagem a seco, na qual o lúpulo é adicionado diretamente ao fermentador deixando intactos todos seus óleos essenciais. Para este fim foi escolhido o lúpulo híbrido australiano Galaxy com alto teor de alfa-ácidos com aroma único, graças ao alto teor de óleos essenciais, podendo ser utilizado para amargor e adições tardias provocando aroma intenso e agradável cítrico com notas de maracujá e laranja à cerveja. A Tabela 7 mostra as principais características dos lúpulos escolhidos.

Tabela 7: Características dos lúpulos escolhidos

Lúpulo	East Kent Goldings (EKG)	Galaxy
Alfa-ácidos	5%	14%
Beta-ácidos	3,5%	5,9%
Utilização	Amargor e aroma	Amargor e <i>dry hopping</i>
Índice de armazenamento (20°C)	-35% $\alpha$ -ácidos/6 meses	-35% $\alpha$ -ácidos/6 meses
Concentração de óleos (mL/100g)	0,4-1	3-5

### 3.1.2.3. Levedura, o agente de fermentação

Com o intuito de ter uma fermentação que produza compostos mais aromáticos e respeite o padrão para a “Belgian Blond Ale”, escolheu-se o levedo belga “Abbaye”. Este é muito utilizado para fermentação de cervejas belgas de abadia, pode suportar altos teores alcoólicos, fermenta rapidamente com muito boa sedimentação ao final e produz aromas equilibrados. Por ser uma levedura de alta floculação, sua sedimentação pode ocorrer antes do final da fermentação, deixando a cerveja mais adocicada e com maior corpo. A Tabela 8 mostra as principais características do levedo escolhido (SMITH, 2010).

Tabela 8: Características da levedura escolhida.

Levedura	Tipo	Forma	Atenuação	Temperatura de atuação	Floculação
Safbrew Abbey	Ale	Seca	71-75%	12 – 25°C	Alta

### 3.1.2.4. Adjuntos e aditivos

Foram escolhidos dois adjuntos para a cerveja. O primeiro, a cevada em flocos, foi escolhido com o objetivo de melhorar a estabilidade da espuma devido ao elevado teor de proteínas. O segundo adjunto, o açúcar mascavo, é muito comum em cervejas belgas, sendo adicionado para aumentar o teor alcoólico, principalmente. A Tabela 9 apresenta as características dos adjuntos utilizados.

Tabela 9: Características dos adjuntos escolhidos

Malte	Cevada em flocos	Açúcar Mascavo
Eficiência	70,00%	100%
Potencial	1,032	1,046
Cor	3,3 EBC	15,8 EBC
Proteínas (%m/m)	13,5%	-
Máximo por batelada (%m/m)	20%	10%
Poder diastático	0 Lintner	-

Além dos adjuntos, para ajudar na limpidez da cerveja, característica do estilo, foi adicionado um agente clarificante, o “whirfloc”, derivado do “Irish Moss”, musgo do mar utilizado como aditivo alimentar e agente coagulante para cervejas e vinhos. Este é adicionado ao fim da cocção do mosto, por volta de 15 minutos antes do término, atuando na coagulação das proteínas, resultando num “trub” quente mais compacto. Pode ser utilizado na forma de pastilha, sendo recomendada uma pastilha para cada 25 litros de mosto, no máximo.

### 3.1.2.5. Água

A água escolhida para a cerveja foi mineral e suas características estão presentes na Tabela 10. Alguns sais estão com concentrações inferiores ao ideal, contudo a utilização de grãos bem modificados, como descrito anteriormente deve ser suficiente para assegurar uma boa conversão enzimática.

Tabela 10: Características da água utilizada.

Íon	Concentração na água mineral Nova Friburgo	Concentração ideal (Palmer, 2006).
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	0,914 ppm	50-150 ppm
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	0,284 ppm	10-30 ppm
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 1)	6,100 ppm	0-250 ppm
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	0,260 ppm	50-150 ppm
Sódio (Na <sup>+1</sup> )	2,071 ppm	0-150 ppm
Cloreto (Cl <sup>-1</sup> )	1,780 ppm	0-250 ppm

### 3.1.3. A receita elaborada

Uma vez escolhidos os ingredientes, foi necessário escolher as quantidades de cada ingrediente a fim de respeitar os padrões do estilo escolhido. Para isso utiliza-se o módulo de “design” de receitas do BeerSmith®. Os principais parâmetros de comparação ao padrão são a gravidade inicial (OG), amargor, cor e teor alcoólico. O resumo da receita é visto na Tabela 11 e o volume esperado no fermentador é de 21 litros.

Tabela 11: Receita da Belgian Blond Ale.

Nome	Tipo	Quantidade	Unidade
Malte Pale	Grão	5,00 kg	80,6%
Cevada em flocos	Grão	0,50 kg	8,1%
Malte Honey	Grão	0,50 kg	8,1%
Açúcar mascavo	Açúcar	0,20 kg	3,2%
East Kent Goldings (60 min)	Lúpulo	25 g	13,8 IBU
Whirlfloc (15 min)	Coagulante	1 unidade	-
East Kent Goldings (15 min)	Lúpulo	10 g	2,7 IBU
East Kent Goldings (5 min)	Lúpulo	15 g	1,6 IBU
SafBrew® Abbaye	Levedura	1 pacote	-
Galaxy (Dry hop – 7 dias)	Lúpulo	15 g	0,0 IBU

Os valores das eficiências de mostura e brassagem variam de equipamento para equipamento e muitas vezes de batelada para batelada. Em geral, encontram-se valores de eficiência de brassagem entre 0,4 e 0,85 para cervejeiros artesanais (BYO, 2000) e valores

ligeiramente superiores para a eficiência de mostura. Lembrando que a eficiência é válida apenas para açúcares que são extraídos na brassagem, outros açúcares, como o mascavo, têm eficiência de brassagem igual a 1, pois todo o açúcar adicionado poderá ser utilizado pelas leveduras. A eficiência deve ser calculada para cada processo e o valor 0,7 foi utilizado de forma aproximativa, baseado em outras brassagens já realizadas no equipamento em questão. As eficiências serão mais bem detalhadas na seção a respeito da brassagem. A equação (3) substituída (equação 28) foi utilizada para o cálculo dos pontos totais de gravidade e a equação (4) substituída (equação 29) para estimar a gravidade específica inicial (OG).

$$Ptg = 8,3554 * [0,70 * \left(\frac{37,83 * 5 + 38,18 * 0,5 + 32,2 * 0,5}{21}\right) + 1,00 * \left(\frac{46 * 0,2}{21}\right)] \approx 66 \quad (28)$$

$$OG = 1 + \frac{66}{1000} = 1,066 \text{ g/cm}^3 \quad (29)$$

Para estimar a cor, inicialmente foi feita a conversão entre EBC, Lovibond, equação (6) substituída (equação 30), e unidades de cor de malte (MCU), equação (7) substituída (equação 31). Para o malte Pale Ale, por exemplo, tem-se a conversão de 6,5 EBC para 3°L e 6,26 MCU. Após a soma dos MCU utilizou-se a equação de Morey (8) substituída (equação 32) para estimar a cor final da cerveja. A Tabela 12 resume o cálculo da cor estimada para a cerveja.

$$^{\circ}L = \frac{(0,508 * 6,5 + 0,76)}{1,3546} \approx 3,00 \text{ }^{\circ}L \quad (30)$$

$$MCU = 8,3554 * 3,00 * \frac{5}{20} = 6,26 \text{ MCU} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \text{Cor da cerveja (EBC)} &= 2,94 * (6,26 + 0,38 + (4,21 * 1,2) + 0,54)^{0,6859} \\ &\approx 16,4 \text{ EB} \end{aligned} \quad (32)$$

Tabela 12: Estimativa da cor EBC da cerveja.

Fator de Conversão	Quantidade (kg)	Volume final (L)	Cor do malte (EBC)	Cor (°L)	MCU	MCU corrigido	Cor (EBC)
8,3554	5	20	6,5	3,00	6,26	6,26	
	0,5		3,3	1,80	0,38	0,38	
	0,5		52,3	20,17	4,21	5,06	
	0,2		15,8	6,49	0,54	0,54	
						12,24	16,4

A cor estimada é ligeiramente superior ao padrão estabelecido para Belgian Blond Ales (7,9-13,8 EBC). Contudo, este estilo permite cervejas que vão do dourado claro até o dourado intenso, que é objetivo central dessa receita. Logo, este pequeno desvio em relação ao padrão é desejado.

Os outros fatores essenciais, que são o teor alcoólico e o amargor, serão demonstrados nas seções subsequentes. A Figura 10 mostra um resumo da receita feita na interface do BeerSmith®

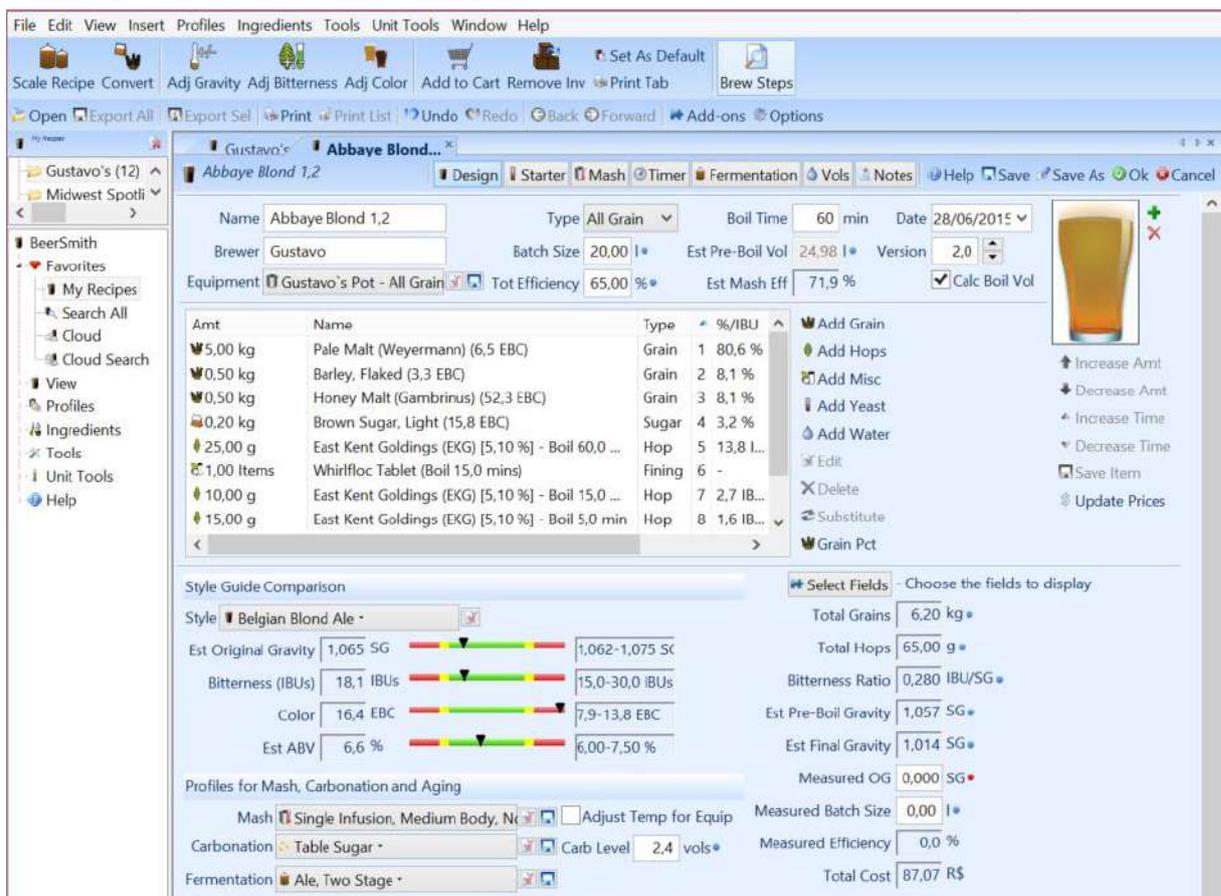


Figura 10: Receita da cerveja em questão (Fonte: BeerSmith®).

### 3.1.4. Mostura

Primeiramente, deve-se saber se os ingredientes escolhidos na receita possuem capacidade enzimática para conversão do açúcar. Calcula-se, então, o poder diastático da mesma, utilizando a equação (1) substituída (equação 33).

$$^{\circ}Ltit = \frac{100 * 5 + 50 * 0,5 + 0 * 0,5}{6} = 87,5 \gg 35 \quad (33)$$

Para maltes modernos, com alto grau de conversão, como demonstrado acima, um simples degrau já deve ser suficiente para uma boa conversão do amido. Um degrau proteolítico só seria interessante para uma cerveja com alto teor de adjunto (>40%), por exemplo. Como um dos ingredientes é a cevada em flocos, faz-se necessária uma etapa de gelatinização de sua fração amilácea, que ocorre entre 60 e 65 graus (SMITH, 2009).

Como o objetivo de uma “Belgian Golden Ale” é ter uma cerveja com corpo médio, tem-se como objetivo favorecer mais no degrau a atuação da alfa-amilase em relação à beta-amilase. Assim, consegue-se não apenas maltose, mas outros açúcares não fermentescíveis, como a dextrina, o que diminui a atenuação final, mas adiciona corpo a cerveja. 60 a 90 minutos acima de 60°C costumam ser suficientes para a ação enzimática (SMITH, 2008).

Sendo assim, planeja-se um degrau, por infusão, curto, a 63°C durante 15 minutos, com o intuito de gelatinizar a cevada em flocos, seguido por aquecimento com calor e mais 60 minutos entre 66 e 67°C, para ação majoritária da alfa-amilase sobre a beta-amilase, como mostra a Figura 11.

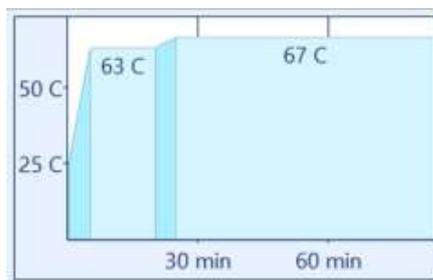


Figura 11: Degraus de brassagem sugeridos (Fonte: BeerSmith®).

Para calcular a quantidade de água a ser adicionada, com objetivo alcançar os 63°C iniciais, utiliza-se a equação (9) substituída (equação 34). Assume-se grão e tina a temperatura ambiente (25°C) com massas, respectivamente, 6kg e 1,5kg. O calor específico da água é conhecido (1,0 cal/g°C). A proporção água:malte que deve ser entre 2 e 3, para garantir o cobrimento dos grãos, assumindo o valor médio dessa razão 2,5, ou 15 litros, mais 1 litro definido como volume morto do equipamento. Espera-se alcançar a temperatura final de 63°C. A temperatura da água pode ser igualmente estimada utilizando a ferramenta de infusão do BeerSmith®.

$$T_a = \frac{6 * 0,38 * (63 - 25) + 1,5 * 0,21 * (63 - 25)}{(15 + 1) * 1} + 63 = 69,1^{\circ}\text{C} \quad (34)$$

Outro fator importante é quanto de cerveja deseja-se obter ao envasar. Para isso existem alguns fatores que vão determinar as quantidades de água a serem utilizadas. De uma maneira geral precisa-se de 1,5 vezes o volume total de água em relação ao volume final de cerveja. Os fatores variam de equipamento para equipamento e devem ser adaptados por cada cervejeiro. Partindo da brassagem e terminando no envase, os fatores que determinam a quantidade de água utilizada são: razões de absorção dos grãos (L/kg), volume morto da tina (L), taxa de evaporação durante a cocção (L/h), retração de volume pós-resfriamento (L), perda de “trub” quente e perda no fermentador (L). A partir do volume desejado nas garradas, faz-se o cálculo inverso dos volumes no fermentador, pós-fervura, pré-fervura e de clarificação do mosto.

Muitos desses parâmetros são escolhidos ou calculados ao adicionar um novo equipamento. A Figura 12 mostra a tela dos parâmetros visíveis na adição de um novo equipamento.

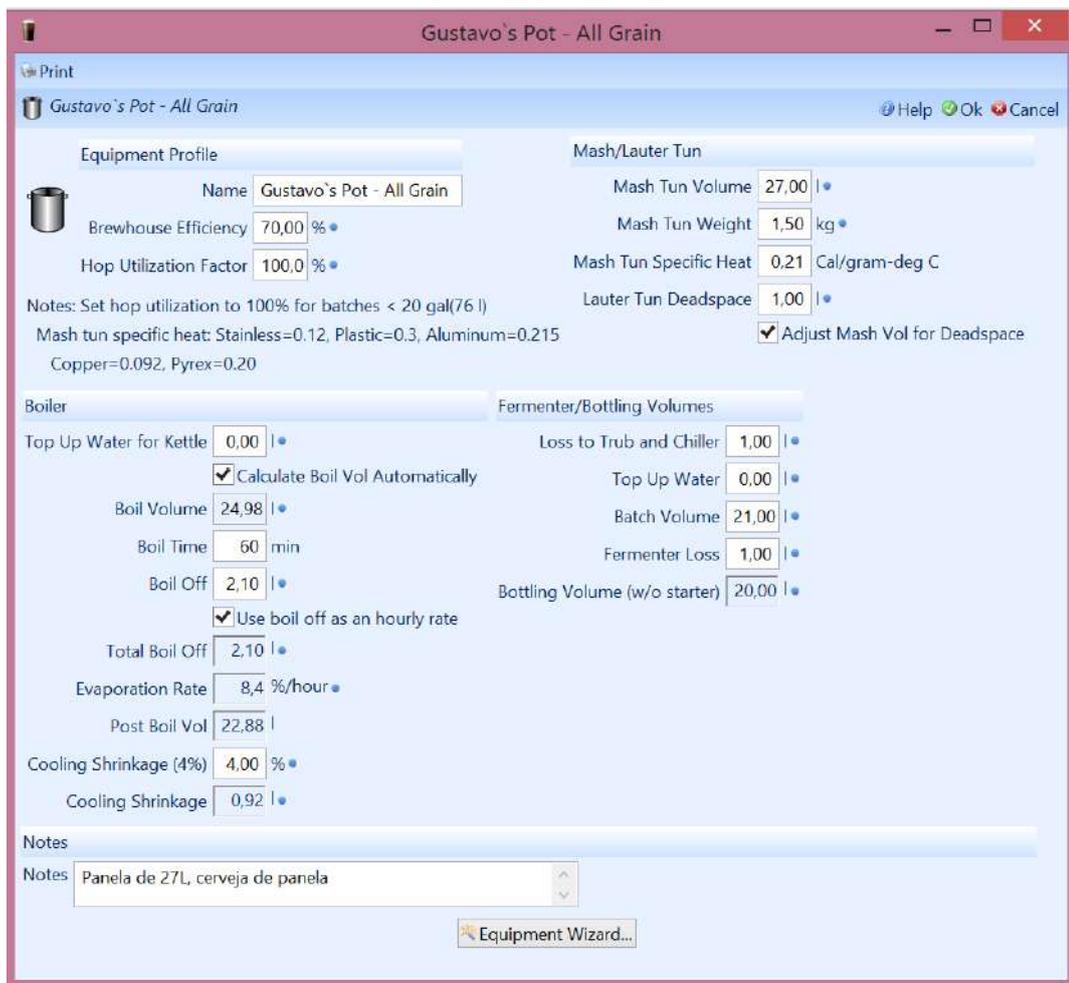


Figura 12: O perfil de um equipamento utilizado (Fonte: BeerSmith®).

Findado o processo de mostura, inicia-se o processo de separação do mosto doce, ou clarificação. Este pode ser conduzido de diversas maneiras, utilizando quase sempre uma tina de separação e água de lavagem. Ao final de clarificação deve-se medir a densidade do mosto para calcular a eficiência de mostura, ou seja, quanto de açúcar foi extraído do grão em relação ao potencial teórico de açúcar presente. Para isso utilizamos a mesma equação (5) substituída (equação 35). Esta eficiência é relativa apenas ao processo de mostura e filtração englobando apenas as perdas ocorridas nestas etapas. Essa medida é importante para avaliar a conversão dos açúcares e a lavagem. Valores da eficiência de mostura giram em torno do 70-90% (SMITH, 2014).

$$\varepsilon (\text{mostura}) = \frac{SG (\text{pré fervura})}{8,3554 * \sum ppgi * \left( \frac{mi}{V (\text{pré fervura})} \right)} \quad (35)$$

$$\frac{55}{8,3554 * \left( 37,83 * \left( \frac{5,0}{25} \right) + 38,18 * \left( \frac{50,5}{25} \right) + 32,2 * \left( \frac{0,5}{25} \right) \right)} = 0,733 \text{ ou } 73,3\% \quad (5)$$

A eficiência total de brassagem é calculada incluindo as perdas por evaporação e por arraste com “trub” quente, nesse cálculo leva-se em conta a gravidade inicial da cerveja (OG). A eficiência de brassagem é um valor muito importante na hora de montar uma receita pois ela vai determinar a quantidade de grãos a serem utilizados, e esta costuma ser praticamente constante para um equipamento e um cervejeiro, ela só vai diminuir em caso de cervejas com gravidades específicas iniciais altas, pois a proporção água:grão diminui impossibilitando a extração total de açúcares disponíveis, diminuindo, assim, as eficiências esperadas. O resumo de todos os pontos teóricos abordados pode ser visto na tela de mostura do BeerSmith®, como mostra a Figura 13.



Figura 13: O perfil de mostura da cerveja em questão (Fonte: BeerSmith®).

### 3.1.5. Cocção

Neste momento o mosto passa pelo processo de sanitização e ocorre a adição do lúpulo EKG, acrescentando todo o amargor e aroma desejado à cerveja. De certa forma, é muito difícil quantificar sabores e aromas, para isso um estudo profundo sobre a composição química de cada tipo de lúpulo e malte se faz necessário.

Um dos fatores mensuráveis durante a fervura é o amargor. Existem diversas fórmulas empíricas de calculá-lo, aqui utilizou-se a fórmula de Tinseth, equação (11). Existe um ajuste na fórmula para lúpulos em "Pellet" (10%); pois eles costumam ter uma maior eficiência de isomerização se comparados aos lúpulos em flor (utilizados nos experimentos de Tinseth).

A concentração de alfa-ácidos, equação (10.1) substituída (equação 36), e os fatores de gravidade, equação (10.2) substituída (equação 37), e cocção, equação (10.3) substituída (equação 38), são estimados utilizando a equação de Tinseth. O fator de cocção aumenta conforme o tempo desta etapa aumenta e o fator de gravidade é função apenas da gravidade inicial estimada. A Tabela 13 resume o cálculo do amargor para a receita elaborada. Utilizando, por exemplo, a primeira adição de lúpulo.

$$C\alpha = \frac{0,051 * 25 * 1000}{20} = 63,75 \text{ mg/l} \quad (36)$$

$$Fg = \left( (1,65)0,000125^{(1,066-1)} \right) = 0,9118 \quad (37)$$

$$Fc = \left( \frac{1 - e^{-0,04*60}}{4,15} \right) = 0,2191 \quad (38)$$

Tabela 13: Estimativa do amargor da cerveja em IBU..

%α-ácido	Quantidade (g)	Volume final (L)	Gravidade (OG)	Tempo (min)	Cα-ácidos (mg/L)	Fator de gravidade	Fator de cocção	IBU (Tinseth)	Correção para pellets
0,051	25	20	1,066	60	63,75	0,9118	0,2191	12,7	14,0
0,051	10			15	25,5		0,1087	2,5	2,8
0,051	15			5	38,25		0,0437	1,5	1,7
TOTAL								<b>16,8</b>	<b>18,5</b>

Existem outros fatores que podem aplicar correção na equação de Tinseth, são eles: a forma do lúpulo utilizada, uma vez que “pellets” são mais eficientes que as folhas; a adição de lúpulo antes da fervura, durante a separação do mosto, o que ajuda na isomerização, contribuindo positivamente para o amargor cerca de (10%) e a utilização durante o Whirlpool contribui (-50%) logo ao fim da etapa de cocção (SMITH, 2003).

### 3.1.6. Fermentação e maturação

Uma vez finalizada a cocção, resfriado o mosto e transferido para um fermentador, é feita a inoculação com as leveduras para início da etapa de fermentação. Nesta, algumas variáveis serão definidas e observadas. A primeira e mais importante a ser definida são as temperaturas e o tipo de fermentação. As principais etapas são a fermentação primária, a fermentação secundária, a maturação e o envelhecimento. Para a cerveja em questão, faz-se sete dias de fermentação primária, após uma mudança de recipiente com intuito de separar o “trub” frio e as leveduras depositadas, iniciando a fermentação secundária, onde os levedos começam a digerir açúcares mais complexos. Em seguida, uma etapa de maturação para equilibrar o aroma e sedimentar ao máximo possível de “trub” frio, podendo assim, a cerveja ser envasada e deixando-a envelhecer por mais algumas semanas. O perfil criado para a fermentação no BeerSmith® pode ser visualizado na Figura 14.

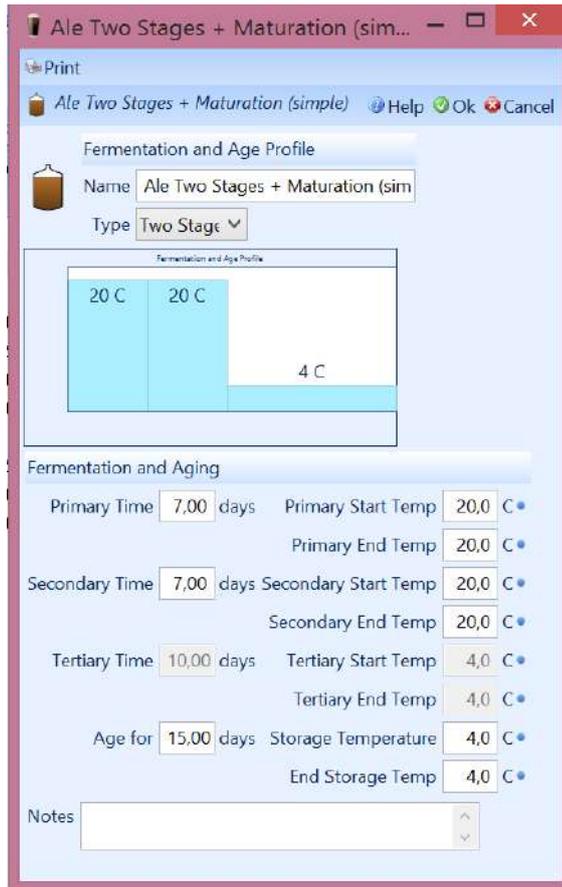


Figura 14: O perfil de fermentação da cerveja em questão (Fonte: BeerSmith®).

Para calcular a atenuação aparente utiliza-se as equações (13), (14) e (15) substituídas (equações 39, 40 e 41) que levam em consideração além das características da levedura, as características da curva de mostura para estimativa da atenuação. No caso tem-se 2 degraus e uma curva de aquecimento de 5 minutos estimados (63°C para 67°C), podendo considerar este um degrau de 5 minutos a aproximados 64,5°C. A equação (17) substituída (equação 42) mostra a estimativa da gravidade final (FG) e a Tabela 14 faz um resumo dos cálculos anteriores.

$$Atl = \frac{71 + 75}{2} = 73\% \quad (39)$$

$$Tm = \frac{\sum Ti * ti}{\sum ti} = \frac{63 * 15 + 64,85 * 5 + 66,7 * 60}{80} = 65,9^{\circ}C = 150,6^{\circ}F \quad (40)$$

$$Atm = (150,6 - 153,5) * (-1,25) = 3,62\% \quad (41)$$

$$FGest = 1,066 - \frac{76,62}{100} * (1,066 - 1) = 1,015 \quad (42)$$

Tabela 14: Estimativa da gravidade final (FG).

%Atenuação Leveduras	%Atenuação mostura	% Atenuação total	OG	FG Estimada
73	3,62	76,62	1,066	1,015

Com a estimativa da gravidade final é possível estimar o teor alcóolico teórico da cerveja. Com a conversão de unidades, a gravidade inicial (OG) é de 16,11°Plato e a gravidade final (FG) de 3,94°P. A gravidade real (RG), calculada com a equação (19) substituída (equação 43), é naturalmente maior que a final (FG), pois esta exclui a contribuição do álcool para a densidade. O teor alcoólico por massa e volume pode ser estimado com auxílio das equações (21) e (22) substituídas (equações 44 e 45). A Tabela 15 resume o cálculo do teor alcóolico incluindo também o cálculo com a equação simplificada (23).

$$RG(^{\circ}P) = 0.8114 * 3,94 + 0.1886 * 16,11 = 6,23^{\circ}P = 1,025 \text{ g/cm}^3 \quad (43)$$

$$ABW\% = \frac{16,11 - 6,23}{2,0665 - 0,010665 * 16,11} = 5,2\% \quad (44)$$

$$ABV\% = 5,2 * \left(\frac{1,015}{0,794}\right) = 6,7\% \quad (45)$$

Tabela 15: Estimativa do teor alcóolico.

	Gravidade inicial (OG)	Gravidade final (FG)	Gravidade real (RG)	Atenuação Aparente (%)	Atenuação Real (%)	ABW%	ABV%	EQ
SG	1,066	1,015	1,025	76,6	62,7	5,2	6,7	(22)
Plato	16,11	3,94	6,23			5,2	6,6	(23)

### 3.1.7. Envase

Cervejas do estilo “Belgian Blond Ales” tem uma carbonatação entre 1,9 e 2,4 volumes do CO<sub>2</sub>, escolhendo-se um valor médio de 2,2 volumes. A temperatura de fermentação escolhida foi de 20°C, calcula-se, então o volume de gás já presente na cerveja, equação (24) substituída (equação 46), em litro de CO<sub>2</sub> por litro de cerveja, e o volume de gás a ser adicionado por refermentação na garrafa, equação (25) substituída (equação 47). A Tabela 16 mostra a quantidade total de açúcar a ser adicionado no “priming”, equação (26.2) substituída

(equação 48), além da pressão esperada em bar para a garrafa de cerveja (em bar), equação (27) substituída (equação 49).

$$Vd = 1,7077392 - 0,05952024 * 20 + 0,000860382 * 20^2 = 0,86 \quad (46)$$

$$Va = 2,2 - 0,86 = 1,34 \quad (47)$$

$$Cg = 4,019 * 1,34 = 5,49 \frac{g \text{ açúcar}}{l \text{ cerveja}} \quad (48)$$

$$P = \frac{5,49}{\left(2.71828182845904^{\left(-10.73797 + \frac{2617.25}{(Tc+273.15)}\right)}\right) * 10} - 1,013 = 2,34 \quad (49)$$

Tabela 16: Cálculo de quantidade de açúcar de “priming”

Carbonatação desejada (Volumes)	Temperatura de fermentação (°C)	Volume de CO2 dissolvido (Volumes)	Quantidade de açúcar (g/L)	Volume engarrafado (L)	Quantidade total de açúcar (g)	Pressão (bar)	Temperatura da cerveja (°C)
2,2	20	0,86	5,49	20,0	109,8	2,34	20

A Figura 15 demonstra o resumo dos pontos abordados nos tópicos sobre fermentação e envase como estes são visualizados no BeerSmith®.

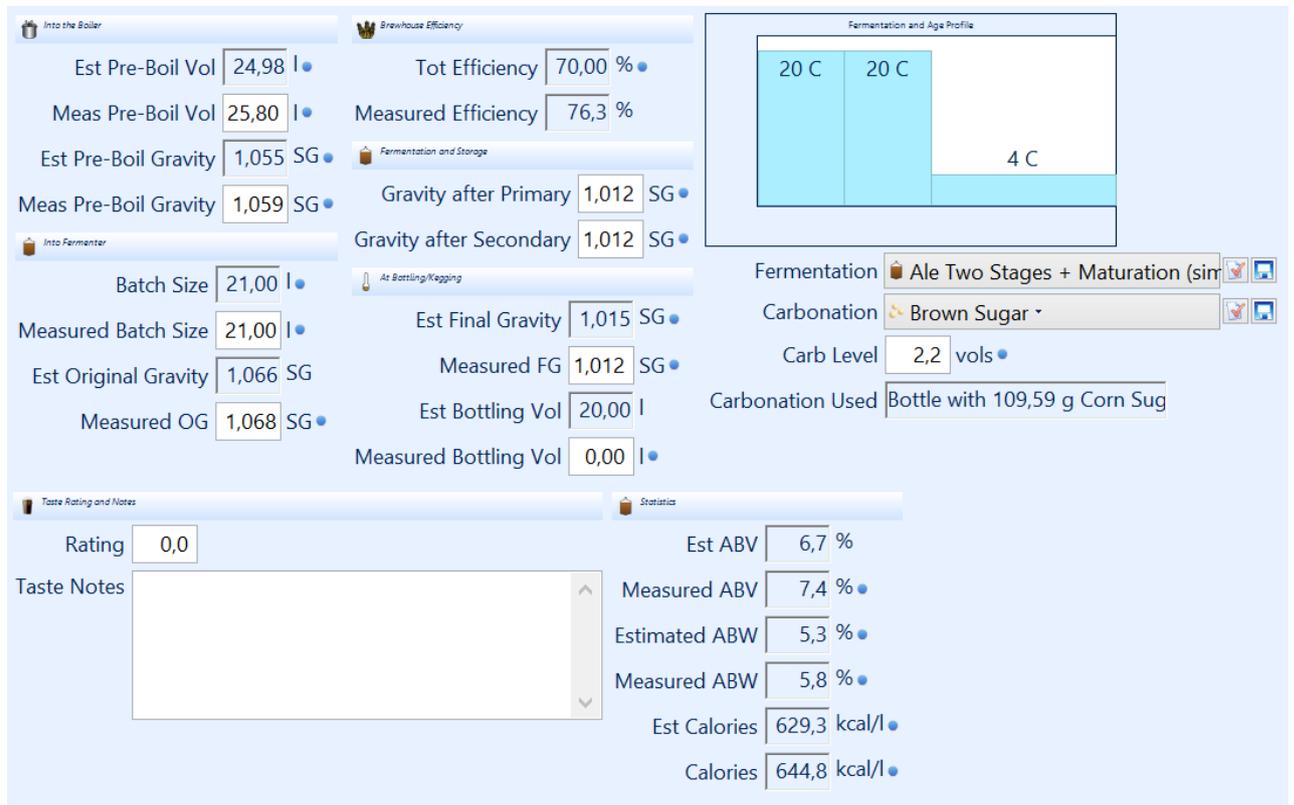


Figura 15: Parâmetros de fermentação e envase (Fonte: BeerSmith®).

## 3.2. Desenvolvimento experimental

### 3.2.1. Matérias Primas e agente de fermentação

As matérias primas escolhidas foram separadas e pesadas para sua utilização seguindo a receita do item 3.1.3 e resumida na Tabela 11. Os maltes e a cevada em flocos foram moídos em moinho de disco. O açúcar mascavo foi pesado diretamente antes da sua adição. Os lúpulos foram pesados e separados antes do início da cocção e a levedura hidratada com água. A Figura 16 mostra as matérias primas utilizadas.



Figura 16: As matérias primas e agente de fermentação da cerveja (Fonte: Autor).

### 3.2.2. Materiais

Uma grande quantidade de equipamentos e materiais foi utilizada no experimento para produção de 20 litros de produto. A Tabela 17 resume os equipamentos em cinco grandes grupos, equipamentos de limpeza, moagem, brassagem, fermentação e envase. Vale a pena ressaltar que nem todos os materiais são indispensáveis e existem diversas formas de montar um equipamento para produção de cerveja.

Tabela 17: Os materiais utilizados no processo

Limpeza:	Moagem:	Brassagem:	Fermentação:	Envase:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produto sanitizante;</li> <li>- Detergente neutro;</li> <li>- Escova para garrafas;</li> <li>- Borrifador;</li> <li>- Pipeta plástica;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moedor;</li> <li>- Concha plástica;</li> <li>- Bandeja plástica;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 tinas 34 com válvula de fundo;</li> <li>- 1 tina 36 sem válvula de fundo;</li> <li>- Termômetro;</li> <li>- pHmetro;</li> <li>- Solução de Iodo;</li> <li>- Placa de toque;</li> <li>- Colher cervejeira;</li> <li>- Jarro de 1 litro;</li> <li>- Concha plástica;</li> <li>- Fundo falso;</li> <li>- Borrifador;</li> <li>- Ebulidor;</li> <li>- Balança;</li> <li>- Colher;</li> <li>- Trocador de calor;</li> <li>- Sifão;</li> <li>- Densímetro;</li> <li>- Peneira Cônica;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 baldes de plástico alimentício com válvula de fundo;</li> <li>- 1 "airlock";</li> <li>- Geladeira com controlador de temperatura;</li> <li>- Erlenmeyer de 1L;</li> <li>- Densímetro;</li> <li>- Compressor de ar com filtro;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garrafas;</li> <li>- Balança;</li> <li>- Escorredor de garrafas;</li> <li>- Tampas;</li> <li>- Arrolhador;</li> <li>- Borrifador para garrafas;</li> <li>- Tubo para enchimento de garrafas;</li> <li>- Manômetro + adaptador para garrafas;</li> </ul>

### 3.2.3. Métodos

#### 3.2.3.1. Limpeza

Para a limpeza dos equipamentos, utilizou-se 1% (m/v) de detergente neutro, Kalyclean S 330, em solução aquosa (5 litros de solução). A solução foi preparada em uma das tinas e foi reutilizada para todos os equipamentos do processo (Figura 17). A limpeza foi feita com auxílio de uma escova para garrafas com objetivo de tirar toda e qualquer sujeira. Fazem parte deste grupo, tinas, fermentadores, termômetro, colheres, Erlenmeyer, sifão, trocador de calor, jarro, densímetro, peneira e qualquer outro que tenha contato com o mosto em qualquer etapa do processo.



Figura 17: O detergente utilizado (Fonte: Autor).

Após a limpeza com detergente, para os equipamentos que entram em contato direto com o mosto amargo pós-resfriamento, foi necessária uma etapa de sanitização, para isso utilizou-se o Iodophor®, Kalyclean S 390, sanitizante industrial solubilizado em água a 0,08% (v/v) (ROSA, 2011) (Figura 18) e adicionado com auxílio de uma pipeta plástica. Fazem parte deste grupo: fermentadores, tampas, "airlocks", jarro, Erlenmeyer e qualquer outro equipamento que entre em contato direto com o mosto amargo pós-resfriamento. O tempo de contato foi de pelo menos 1 minuto e nessa concentração não foi necessária posterior rinsagem com água. O fermentador foi fechado à espera do mosto por com auxílio da escova.



Figura 18: O produto sanitizante (Fonte: Autor).

### 3.2.3.2. Moagem

Para a moagem, adicionou-se pequena quantidade de grãos, com auxílio de uma concha plástica, ao moedor de discos. Em seguida o moedor foi ajustado manualmente de tal forma a quebrar 100% dos grãos, mas de forma a deixar a casca o mais intacta possível (Figura 19). Uma vez ajustado o moedor, todo o malte foi pesado e moído posteriormente conforme a receita apresentada no desenvolvimento teórico.



Figura 19: O malte antes e depois do moedor (Fonte: Autor).

Para esta operação foram utilizadas uma concha plástica, uma bandeja plástica, um moedor de disco e uma balança (Figura 20). Ajustes no moedor podem ser necessários durante o processo ou com a troca do grão, pois alguns destes podem ser mais ou menos resistentes que outros. O parâmetro é sempre a obtenção de grãos quebrados com a casca inteira.



Figura 20: Os equipamentos de moagem (Fonte: Autor).

### 3.2.3.3. Brassagem

Foram aquecidos, como planejado, 16 litros de água a 69°C em uma tina de 34L de capacidade, e todo o grão moído (6 kg) foi adicionado (Figura 21). Em seguida, mantendo a temperatura da água, esta foi adicionada cuidadosamente, tomando cuidado para molhar uniformemente a camada de grãos.



Figura 21: Preparação da água e grãos (Fonte: Autor).

Para infusão de forma homogênea a água foi adicionada com auxílio de uma jarra e da colher cervejeira (Figura 22). A temperatura da água foi constantemente monitorada para assegurar a temperatura final desejada de 63°C.



Figura 22: A infusão da água ao malte (Fonte: Autor).

Finalizada a infusão foi medida a temperatura e determinado o pH de mostura (Figura 23). A temperatura deve ser mantida a 63°C durante 15 minutos e não deve ser inferior a 60°C (temperatura de gelatinização do amido da cevada). O pH ótimo de brassagem deve estar na faixa 5,2-5,8. Após 15 minutos aqueceu-se a mistura a 67°C e esta temperatura foi mantida durante 1h, segundo degrau de mostura, o degrau sacarítico, reaquecendo sempre que a temperatura fosse inferior a 65°C (Figura 24). Paralelamente a esta espera de 60 minutos, foram aquecidos os 16 litros de água de lavagem a 77°C, como programado.



Figura 23: A verificação de pH e temperatura (Fonte: Autor).



Figura 24: O primeiro e segundo degrau de mostura (Fonte: Autor).

Após o segundo degrau, amostras de referência foram coletadas e adicionadas à placa de toque. Nesta foi adicionado uma gota de iodo, mantendo a etapa de mostura por mais tempo até desaparecimento da cor roxa.

Todo o mosto, agora denominado doce, foi transferido para a tina de clarificação número 34 com o fundo falso. Iniciou-se a recirculação, com um jarro, do mosto pela válvula de fundo da tina até que não houvesse sedimentos e ligeira melhora na turbidez (Figura 25). A recirculação é feita com cuidado de tal forma a perturbar o mínimo possível a camada de grãos que atua como meio filtrante. Após este indicativo, iniciou-se, com auxílio do jarro e de uma peneira, a transferência pela válvula de fundo de uma tina para outra.



Figura 25: A recirculação do mosto doce (Fonte: Autor).

A água de lavagem foi adicionada à 77°C cuidadosamente e progressivamente à medida que o nível de líquido ficava a cerca de três centímetros acima da camada de grãos.

Com objetivo de manter sempre os grãos cobertos com água para não perturbar o meio filtrante e prejudicar a separação entre grãos e mosto (Figura 26). Continuou-se a transferência do mosto pela válvula de fundo e fez-se a adição da água pelo topo da tina até acabar a água de lavagem.



Figura 26: A clarificação e separação do mosto doce (Fonte: Autor).

Finalizou-se a etapa de separação e clarificação do mosto com a última água de fundo na transferência, desta água foi medida a gravidade específica e pH, para verificar a presença de açúcares nos grãos. Mediu-se do mosto doce: o volume para comparação com o teórico, a gravidade específica para o cálculo da eficiência de mostura e a temperatura do mosto doce pré-fervura (Figura 27). A medida da temperatura é importante para correção da gravidade. Uma amostra do mosto doce foi retirada para análise.



Figura 27: A medição de temperatura e gravidade específica (Fonte: Autor).

Com ajuda de um ebulidor e no fogão, iniciou-se a cocção do mosto. Enquanto isso foram pesados 25g do lúpulo East Kent Goldings (EKG). Logo após o início da fervura foi feita a adição do lúpulo. Esperaram-se mais 45 minutos para a adição de mais 10g do EKG e do “Whirfloc” (Figura 28), enquanto isso, a levedura seca foi hidratada em 200mL de água a 30°C em um Erlenmeyer (Figura 29).



Figura 28: A adição do lúpulo (Fonte: Autor).

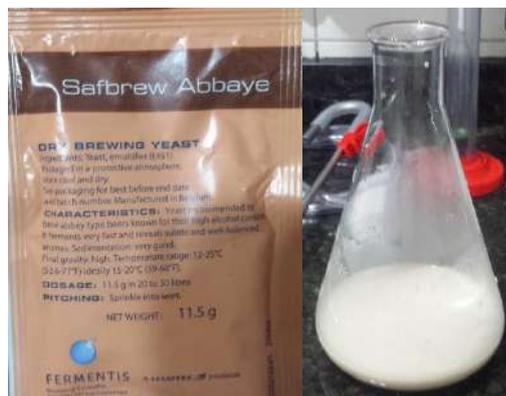


Figura 29: A hidratação da levedura (Fonte: Autor).

Após 10 minutos da adição do segundo lúpulo, ou 5 minutos antes do fim da fervura, foi adicionado mais 15g do EKG e montou-se o sifão e o trocador de calor, para sanitização destes por calor (Figura 30). 5 minutos após a adição do terceiro lúpulo o aquecimento foi interrompido, realizou-se uma mistura rápida, também conhecida como “Whirlpool”, para melhor sedimentação dos restos de lúpulo e proteínas, o “trub” quente. Iniciou-se o resfriamento do mosto, agora denominado mosto amargo, com a utilização do “chiller” de imersão.



Figura 30: O resfriamento do mosto amargo (Fonte: Autor).

O resfriamento foi conduzido até que a temperatura do mosto estivesse na faixa 20-25°C. Após este se iniciou, com auxílio do sifão e da peneira, a transferência para o fermentador. Uma vez terminada a transferência pesou-se 200g de açúcar mascavo adicionando-o diretamente ao fermentador. Misturou-se vigorosamente e com auxílio do compressor de ar aerou-se ainda mais o mosto. A gravidade inicial foi, finalmente, medida (Figura 31). Foi separada uma amostra para análise e a levedura foi adicionada e o fermentador fechado com tampa e “airlock”.



Figura 31: A transferência do mosto amargo ao fermentador (Fonte: Autor).

### 3.2.3.4. Fermentação

O fermentador foi então transferido para a câmara fria, equipada com controlador de temperatura. A temperatura foi ajustada para 20°C mantendo o fermentador intacto durante quatro dias, conferindo-se periodicamente a temperatura do fermentador para mantê-lo a 20°C (Figura 32). O indicativo do início da fermentação foi a presença de bolhas no “airlock”, este enchido com álcool 70% (v/v), para evitar a contaminação no interior do recipiente, mas não impedir a saída de gás carbônico.



Figura 32: O fermentador e a câmara fria (Fonte: Autor).

Após 7 dias foi realizada a transferência para um segundo fermentador, a fim de separar a cerveja das leveduras sedimentadas e do “trub” frio (Figura 33). A densidade foi medida para verificar o andamento da fermentação e uma amostra foi retirada para análise. Uma vez menor ou igual aos 1,015 g/cm<sup>3</sup> previstos foi adicionado 15g do lúpulo Galaxy e iniciada a maturação durante 7 dias a 4°C.



Figura 33: A transferência de fermentador e a medição da densidade (Fonte: Autor).

### 3.2.3.5. Envase e carbonatação

Preparou-se uma solução de 1% (m/v) de detergente sem perfume em 5 litros de água. Esta foi aquecida até aproximadamente 50°C. Então, com auxílio de uma escova, todas as garrafas foram lavadas, enxaguadas e, então, inspecionadas internamente para assegurar a boa limpeza interna das mesmas. Finalmente, todas as garrafas foram colocadas no escorredor como pode ser visto na Figura 34.



Figura 34: A Limpeza das garrafas (Fonte: Autor).

Foi então preparada uma solução 0,08% (v/v) de Iodophor em 3 litros de água. Inicialmente foi sanitizado um fermentador, utilizado como reservatório de envase, a colher cervejeira e depois, com auxílio de um lavador de garrafas foi realizada a etapa de sanitização. Todas as garrafas foram novamente posicionadas no escorredor antes de serem efetivamente

envasadas. Foi realizada a transferência de recipiente e feita a medição do volume e da gravidade final (FG). 100 gramas de açúcar foram pesados, adicionados e homogeneizados na cerveja antes do envase. A Figura 35 mostra a sanitização das garrafas.



Figura 35: A sanitização das garradas (Fonte: Autor).

O tubo para enchimento foi conectado à torneira, este possui um sistema de acionamento quando encostado ao fundo da garrafa. Foi realizado o enchimento de todas as garrafas e tampadas uma a uma. Uma das garrafas foi fechada com o manômetro para medição da pressão interna, indicativo da carbonatação. O envase e tampamento podem ser observados na Figura 36.



Figura 36: O envase e fechamento da cerveja (Fonte: Autor).

### 3.2.3.6. Análises do mosto e cerveja

As análises foram feitas com auxílio de um colorímetro e do “Beer Analyser”. Quatro amostras foram recolhidas durante o processo: mosto doce, mosto amargo, cerveja verde e cerveja maturada. Inicialmente, as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos a 2200 rpm para análise da cor no colorímetro (Figura 37). Este funciona por análise comparativa aos padrões de cor em EBC. Em seguida as amostras foram analisadas com o “Beer Analyser” obtendo as informações de: teor alcoólico em volume e massa, porcentagem de extrato real e aparente, gravidade específica e em graus Plato, atenuação real e aparente e calorias.



Figura 37: Amostra antes e depois da centrifugação (Fonte: Autor).

## **4. Resultados e discussão**

### **4.1. Análise comparativa**

A comparação de resultados foi feita entre as análises do “Beer Analyser”, colorímetro, medições realizadas durante o desenvolvimento experimental e estimativas feitas durante o desenvolvimento teórico. Foram comparados os resultados experimentais com os teóricos e, em seguida, confrontadas às medições feitas nos equipamentos de análise.

#### **4.1.1. Mostura**

Durante a mostura, após a infusão, com água aquecida, a temperatura alcançada foi de 61°C e o pH de 5,31, o que mostra o pH na faixa de atuação ótima das enzimas, que é de 5,2 à 5,8.

A temperatura obtida foi menor que o estimado (63°C), provavelmente, devido à queda da temperatura da água no intervalo utilizado para a infusão dos 16 litros. Como a temperatura era superior à temperatura de gelatinização da cevada em flocos (60°C), a mistura não foi aquecida. Passados os 15 minutos previstos, a temperatura caiu para 59°C e foram necessários 10 minutos para aquecer a mistura a 67°C, diferente dos 5 minutos previstos.

No degrau de 60 minutos de mostura foi necessário reaquecer o líquido quando a temperatura esteve inferior a 65°C. A Figura 38 mostra o comparativo aproximado entre a curva de mostura teórica e prática.

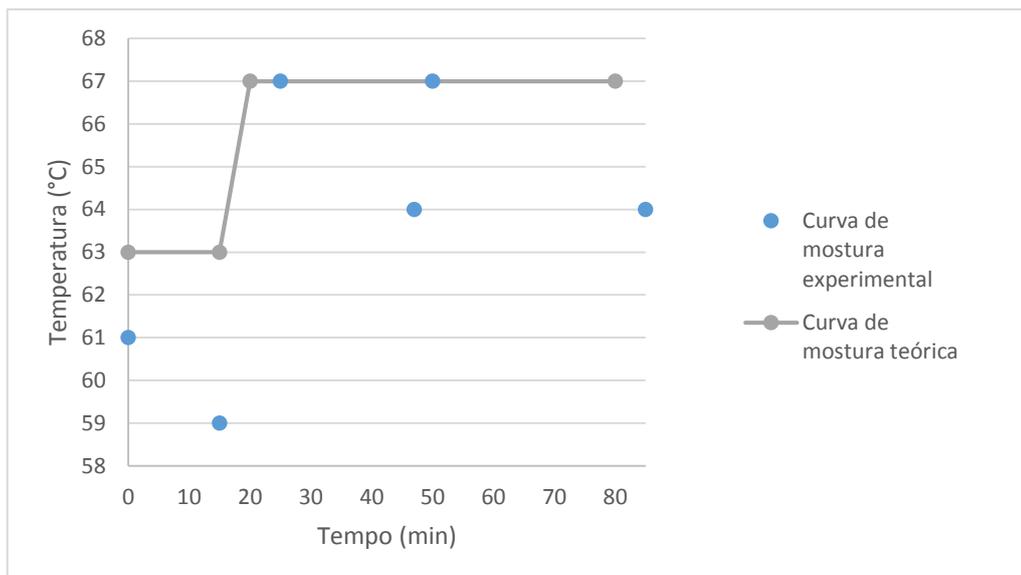


Figura 38: As curvas de mostura teórica e prática (Fonte: Autor).

Após os 60 minutos previstos de mostura, o teste de iodo foi utilizado para validá-la. A observação de um complexado preto, numa amostra coletada após 30 minutos de mostura, demonstra a presença do amido na mistura (A). Após os 60 minutos planejados outra amostra foi coletada e novamente o teste foi realizado, percebendo agora a ausência de coloração (B) (Figura 39), como esperado na teoria. Com este indicativo pode-se dar sequência com a clarificação do mosto. Caso a cor preta ainda fosse observada mais tempo seria necessário manter a temperatura a 67°C até que não houvesse mudança de cor.

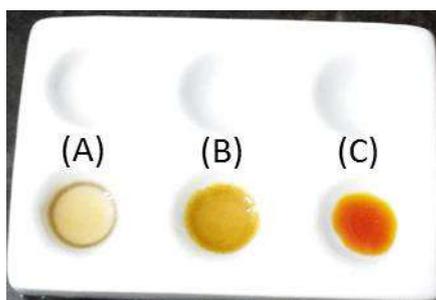


Figura 39: O teste do iodo para, respectivamente, trinta minutos (A), sessenta minutos (B) e o iodo puro (C) (Fonte: Autor).

#### 4.1.2. Clarificação e lavagem do bagaço

Após a clarificação do mosto no último litro da água de lavagem, foram verificados o pH e a gravidade específica. O pH de 5,5 foi inferior a 6,0 indicando o não desprendimento de taninos da casca que podem afetar o sabor do produto final.

A gravidade específica medida 56°C foi de 1,025 g/cm<sup>3</sup>, ou 1,014 g/cm<sup>3</sup> a 20°C, que é a temperatura de calibração do densímetro (utilizando a ferramenta de ajuste de densímetro do BeerSmith®). Esta densidade indica que ainda existem açúcares retidos ao bagaço, por isso, o aumento da quantidade de água de lavagem resultaria numa maior extração de açúcares.

Findada a clarificação do mosto e lavagem do bagaço, foi medido o volume pré-cocção, bem como a gravidade específica para o cálculo da eficiência de mostura, utilizando a equação (5) substituída (equação 50). A gravidade medida foi de 1,052 g/cm<sup>3</sup> a 46°C, ou 1,059 g/cm<sup>3</sup> após correção de temperatura para a temperatura de calibração de 20°C e o volume de 25,8 litros, medido a partir da altura de líquido.

$$\frac{59}{8,3554 * (37,83 * (\frac{5,0}{25,8}) + 38,18 * (\frac{0,5}{25,8}) + 32,2 * (\frac{0,5}{25,8}))} = 0,813 = 81,3\% \quad (50)$$

Possivelmente, o espaço morto foi superdimensionado, o que gerou um volume superior ao volume esperado, que era de 25 litros. O rendimento obtido durante a mostura foi maior se comparado ao previsto (73,3%), o que indica uma boa conversão enzimática e boa condução de processo durante a clarificação e lavagem.

#### 4.1.3. Cocção

Após a separação do mosto, cocção e resfriamento, foi, finalmente, medida a gravidade específica inicial (OG) de 1,068 g/cm<sup>3</sup> num volume final de mosto no fermentador de 21 litros. A taxa de evaporação do mosto foi maior que a esperada de 16,0% (v/v), alcançando os 18,6% (v/v) ao final da cocção. Este fator pode ser corrigido alterando o parâmetro da taxa de evaporação no “software”.

Calculou-se, inicialmente, a contribuição do açúcar na densidade, uma vez que sua eficiência é de 100%, utilizando a equação (2) substituída (equação 51). Subtraiu-se a contribuição deste em relação a OG para em seguida calcular eficiência da brassagem

realizada, equação (5) substituída (equação 52). Esta eficiência atingiu 72,2% e foi ligeiramente superior ao planejado, de 70%, mas ainda dentro da faixa esperada teoricamente, que está entre 40% e 85%.

$$ppi (açucar) = 8,3554 * 1 * 46 * \frac{0,2}{21} = 3,66 \quad (51)$$

$$\frac{68 - 3,66}{8,3554 * (37,83 * (\frac{5,0}{21}) + 38,18 * (\frac{0,5}{21}) + 32,2 * (\frac{0,5}{21}))} = 0,722 \quad (52)$$

$$= 72,2 \%$$

Para medir experimentalmente o amargor da cerveja, utiliza-se um espectrofotômetro e extração com solvente. Ele será representado pela conversão dos alfa-ácidos do lúpulo em iso-alfa-ácidos. O valor encontrado é o resultado de fórmulas empíricas, como a Tinseth apresentada, e é baseado em degustação de amostras. Não foi viável realizar a medição experimental do amargor. Contudo, alguns fatores podem ter contribuído para uma maior sensação de amargor na cerveja. A separação do trub quente do mosto amargo não foi perfeita, levando assim o trub para o fermentador, o que pode ter auxiliado para uma sensação de amargor ligeiramente maior. A lupulagem a seco, feita com o lúpulo “Galaxy”, não contribui diretamente com amargor, mas aposta sabores mais complexos de lúpulo que podem ser associados no paladar ao amargor.

#### 4.1.4. Fermentação

As primeiras bolhas observadas no “Airlock” começaram a sair por volta de 8 horas após o início da fermentação e continuaram a sair durante, aproximadamente 5 dias. Ao transferir o mosto para o segundo fermentador, com intuito de eliminar o resíduo de leveduras e trub frio, mediu-se a densidade, que a esta altura era 1,012 g/cm<sup>3</sup>. Isto indica que a levedura fermentou mais rápido que o esperado, que era de 1,015 g/cm<sup>3</sup> após a fermentação secundária, mas ainda assim podendo ser compreendido, pois este levedo é de rápida fermentação, como visto durante a apresentação do mesmo.

Adicionou-se, assim, o lúpulo “Galaxy” e iniciou-se o resfriamento à 4°C, deixando a cerveja maturar durante 7 dias, quando se obteve a mesma gravidade específica, 1,012 g/cm<sup>3</sup>.

Com estes dados, a atenuação aparente experimental da cerveja pôde ser calculada utilizando a equação (12) substituída (equação 53).

$$At = 100 * \frac{1,068 - 1,012}{1,068 - 1,000} = 82,4\% \quad (53)$$

Esta foi superior se comparada à atenuação esperada, que é de 76,6%, mas que pode ser explicada a partir das temperaturas experimentais de mostura, que foram diminuindo durante o decorrer dos degraus utilizados, nunca sendo maiores que 67°C. Estas temperaturas inferiores indicam um trabalho em conjunto das duas principais enzimas,  $\alpha$ -amilase e  $\beta$ -amilase, ao invés de majoritariamente a  $\alpha$ -amilase como desejado teoricamente. Com isso a formação de maltose foi superior à formação de dextrinas, gerando um perfil de açúcares mais simples, e, conseqüentemente um mosto mais atenuável.

Para entender melhor a atenuação aparente utilizaram-se as equações (14) e (15) substituídas (equações 54 e 55 para novo cálculo da contribuição da mostura para a atenuação. Para o cálculo da temperatura média de mostura fez-se uma aproximação das temperaturas experimentais medidas, como a média entre os pontos encontrados na Figura 38.

$$Tm = \frac{\sum Ti * ti}{\sum ti} = \frac{60 * 15 + 63 * 10 + 65,5 * 60}{85} = 64,5^{\circ}C = 147,6^{\circ}F \quad (54)$$

$$Atm = (147,6 - 153,5) * (-1,25) \approx 7,4\% \quad (55)$$

Este valor de atenuação de mostura, 7,4%, foi superior ao calculado teoricamente, 3,6%. Explicando, então, o porquê da obtenção de uma gravidade específica final (FG) menor que 1,015 g/cm<sup>3</sup>. Com os valores de atenuação aparente determinado experimentalmente e a atenuação de mostura, pode-se calcular a contribuição da levedura para a atenuação utilizando a equação (13) modificada (equação 56). Chegou-se ao valor de 75% o que está dentro da faixa teórica para a levedura utilizada.

$$\% \text{ Atenuação da levedura} = 82,4\% - 7,4\% = 75\% \quad (56)$$

Devida a maior atenuação, os teores alcóolicos mássico e volumétrico também serão superiores ao esperado, que são, respectivamente, 5,2% m/m e 6,7%. Sendo estes iguais a 5,8% m/m e 7,4% v/v para as gravidades específicas inicial e final de, respectivamente, 1,068

e 1,012 g/cm<sup>3</sup>. A Tabela 18 mostra o resumo das operações no cálculo do teor alcóolico, utilizando as equações (21), (22) e (23).

Tabela 18: O cálculo do teor alcóolico da cerveja elaborada.

	Gravidade inicial (OG)	Gravidade final (FG)	Gravidade real (RG)	Atenuação Aparente (%)	Atenuação Real (%)	ABW%	ABV%	EQ
SG (g/cm <sup>3</sup> )	1,068	1,012	1,022	82,4	67,4	5,8	7,4	(21), (22)
°Plato	16,57	3,07	5,61			5,8	7,4	(21), (23)

\*ABW% = teor alcóolico mássico em % (m/m).

\*ABV% = teor alcóolico volumétrico % (v/v).

#### 4.1.5. Carbonatação

Antes do envase, foi medido o volume final de cerveja obtida, 18,5 litros. Este volume foi inferior ao esperado teoricamente, de 20 litros. A perda durante a fermentação que engloba o “trub” frio, os resíduos de leveduras e a perda relativa às transferências de fermentador foi de 2,5 litros contra 1 litro teórico. Para a quantidade total de açúcar adicionada foi feita utilizando a concentração de 5,49 g/L obtidos teoricamente, obtendo uma quantidade total de açúcar para 18,5 litros de 101,6 g.

A pressão encontrada na garrafa foi de 2,2 bar, como mostra a Figura 40, muito próxima dos 2,34 bar encontrados com a equação (27) substituída.



Figura 40: Pressão na garrafa (Fonte: Autor).

#### 4.1.6. Cor

A cor foi determinada utilizando o colorímetro. Para a cerveja maturada obteve-se 27 EBC, sendo amplamente superior ao esperado teoricamente, 16,4 EBC. Com isso, ou a cor de algum dos ingredientes mais escuros, o açúcar mascavo, 15,8EBC, ou o malte “Honey”, 52,3EBC, foi subdimensionada. Para verificar a fundo a causa dessa divergência testes de diluição e novas análises destes dois seriam a melhor opção. A Figura 41 mostra essa diferença de cor encontrada.

Cor Teórica	Cor Experimental	Cor Real
16,4 EBC	27 EBC	
		
(A)	(B)	

Figura 41: Comparativo de cor da cerveja (Fonte: Autor).

#### 4.1.7. Análises com o “Beer Analyser”

Foram escolhidas quatro amostras a serem analisadas pelo equipamento: amostras do mosto doce, do mosto amargo, da cerveja verde e da cerveja maturada. Como esperado, os mostos obtiveram teor alcoólico igual a zero e percentuais de extrato real, aparente e original iguais. O mosto doce possui menor percentual de extrato em comparação ao mosto amargo, uma vez que este ainda não passou pela etapa de cocção, estando, assim, mais diluído. A cerveja verde, após sete dias de fermentação, e a maturada obtiveram valores próximos em todas as análises. Detalhe para a densidade encontrada, que foi bastante inferior à densidade medida no densímetro, gerando assim um teor alcoólico mais elevado que os 7,4% v/v obtidos anteriormente. A Tabela 19 resume os dados obtidos no “Beer Analyser”.

Tabela 19: Os resultados obtidos para as quatro amostras no “Beer Analyser”.

	Mosto doce	Mosto amargo	Cerveja verde	Cerveja maturada
Álcool (% v/v)	-0,04	-0,01	7,84	7,88
Álcool (% m/m)	-0,03	0,00	6,14	6,17
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,05791	1,06672	1,00842	1,00832
Extrato real (% m/m)	14,7	16,76	5,36	5,35
Extrato aparente (% m/m)	14,71	16,76	2,62	2,60
Extrato original °P (% m/m)	14,65	16,75	16,94	16,97
Atenuação real (% m/m)	-0,37	-0,06	70,29	70,44
Atenuação aparente (% m/m)	0,42	-0,06	84,50	84,69
Calorias (kcal/L)	553,40	638,05	620,48	621,9

Em comparação aos valores obtidos através do densímetro, os valores do “Beer analyser” são mais exatos, uma vez que este não está suscetível a mudanças de temperatura, nem a análise visual, que é subjetiva, variando de pessoa para pessoa. A Tabela 20 mostra a comparação entre os resultados teórico, experimental e analítico.

Tabela 20: Comparação dos resultados obtidos

	Dados teóricos	Dados experimentais	Cerveja maturada
Álcool (% v/v)	6,7	7,4	7,88
Álcool (% m/m)	5,3	5,8	6,17
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,015	1,012	1,00832
Extrato real (% m/m)	6,14	5,61	5,35
Extrato aparente (% m/m)	3,82	3,07	2,60
Extrato original °P (% m/m)	16,11	16,57	16,97
Atenuação real (% m/m)	61,3	66,1	70,44
Atenuação aparente (% m/m)	75,6	82,4	84,69
Calorias (kcal/L)	629,3	644,8	621,9

Claramente, a dificuldade experimental do controle da temperatura de mostura contribuiu para a formação de um mosto com perfil de açúcares mais simples. Aumentando assim, o grau de atenuação da fermentação.

Para verificar o erro das equações utilizadas, os dados obtidos para a cerveja maturada foram utilizados para o cálculo do teor alcóolico, obtendo valores muito próximos aos obtidos com o “Beer Analyser”, validando as equações utilizadas, como mostra a Tabela 21.

Tabela 21: Comparação entre equação (21) e (22) e o “Beer Analyser”

	Gravidade inicial (OG)	Gravidade final (FG)	Gravidade real (RG)	Atenuação Aparente (%)	Atenuação Real (%)	ABW%	ABV%
EQ (21) e (22) “Beer Analyser”	16,97	2,60	5,31	84,68	68,71	6,18	7,87
	16,97	2,60	5,35	84,69	70,44	6,17	7,88

Outra comparação possível é para a fórmula de conversão da gravidade específica para °P (% m/m). Enquanto para a cerveja maturada, por exemplo, temos a densidade de 1,00832 g/cm<sup>3</sup> e 2,60 % m/m de pós-análise, pela equação (18.1) temos uma diferença média de 0,46. A Tabela 22 mostra a diferença da conversão de unidade entre o “Beer Analyser” e a equação.

Esta diferença indica, possivelmente, um erro na equação de conversão aproximadamente constante. Seriam necessárias mais amostras a fim de confirmar a mudança do valor na constante 668,962 da equação (18,1), como sugerido na Tabela 22.

$$^{\circ}\text{P} = -668.962 + 1262.45 * \text{SG} - 776.43 * \text{SG}^2 + 182.94 * \text{SG}^3$$

Tabela 22: Cálculo de conversão entre gravidade específica e graus Plato.

Amostra	Gravidade específica (g/cm <sup>3</sup> )	°P medidos no "Beer Analyser"	°P Calculados pela EQ (18.1)	Diferença entre medições
Cerveja Maturada	1,00832	2,60	2,13	0,47
Cerveja verde	1,00842	2,62	2,16	0,46
Mosto doce	1,05791	14,65	14,23	0,42
Mosto amargo	1,06672	16,75	16,28	0,47

Já para os mostos doce e amargo, as diferenças entre dados experimentais e analíticos são de 0,001 g/cm<sup>3</sup>, o que pode ser explicado devido à graduação do densímetro, que é feita a cada 0,002 g/cm<sup>3</sup>. A Tabela 23 mostra esta comparação.

Tabela 23: Comparação de resultados para o mosto doce e amargo.

	Dados experimentais		Medidas do "Beer Analyser"	
	Mosto doce	Mosto amargo	Mosto doce	Mosto amargo
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,059	1,068	1,05791	1,06672
Extrato original °P (% m/m)	14,49	16,57	14,65	16,75

#### 4.1.7. Criação de receita a partir dos valores experimentais

Os valores de gravidade específica inicial e final, cor e teor alcóolico foram diferentes dos estimados teoricamente. Corrigindo no BeerSmith® os volumes encontrados, a curva de mostura (utilizando a temperatura média aproximada) e a cor dos grãos obtiveram-se valores que se aproximam muito dos obtidos experimentalmente. Com valor de gravidade específica inicial (OG) igual a 1,068 mg/cm<sup>3</sup>, cor de 21,7 EBC, gravidade específica final (FG) de 1,012 g/cm<sup>3</sup> e teor alcóolico volumétrico (ABV%) de 7,4%. Este resultado é muito mais próximo do encontrado experimentalmente, indicando que uma melhor condução e controle de processo,

bem como uma melhor estimativa de parâmetros como a eficiência de brassagem e os volumes de perdas de mostura, clarificação, cocção e fermentação, tornariam os valores teóricos e experimentais muito próximos da realidade. A Figura 42 mostra os novos valores estimados pelo programa.

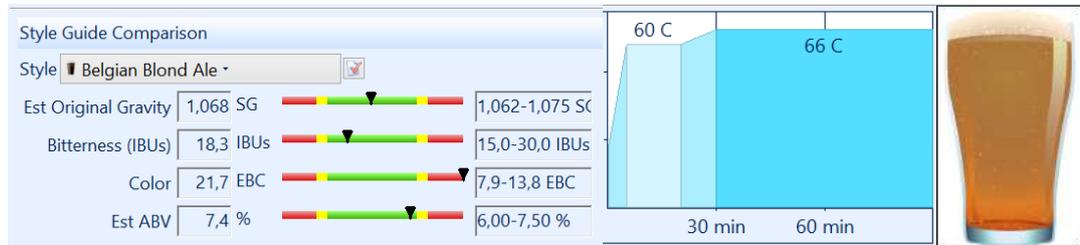


Figura 42: Novos valores estimados a partir do experimento (Fonte: BeerSmith®).

Pôde-se concluir que algumas etapas do processo, como a mostura, tem influência direta em parâmetros diretamente associados, como a gravidade específica inicial, mas também a gravidade específica final e o teor alcóolico, como observado na receita elaborada, onde temperaturas de mostura menores resultaram numa cerveja mais atenuável e, conseqüentemente, de maior teor alcóolico. Um melhor controle de temperatura, por exemplo, garantiria então uma maior proximidade entre valores teóricos e práticos, gerando valores muito próximos dos obtidos.

## 5. Conclusão

O objetivo proposto pelo presente trabalho, de avaliar a utilização do “software” para a produção artesanal de cerveja foi alcançado com algumas ressalvas.

Primeiramente, o conhecimento adquirido na Pesquisa Bibliográfica, que foram além do conhecimento das ferramentas, mas sim do que está por trás da sua utilização, como o entendimento dos cálculos efetuados para cada parâmetro, foram extremamente enriquecedores para o autor. Além disso, com o experimento realizado tornou-se possível aplicar os conceitos teóricos a real complexidade do processo cervejeiro.

Este projeto permitiu a melhor compreensão da influência das matérias primas, levedura e processos utilizados nos parâmetros finais de uma cerveja, como a cor, corpo, teor alcoólico e amargor, entre outros.

A partir do conhecimento mais aprofundado de valores como eficiências estimadas, taxa de evaporação, perdas no processo, cores dos grãos, entre outros, o mestre cervejeiro tende a confiar mais nos parâmetros pré-estabelecidos do “software”, pois resultados como volumes, gravidade específica e teor alcoólico estimado dependem destes.

Contudo, a necessidade de conhecimento específico precisa ir além do passo a passo indicado a partir do “software”, uma vez que permite maior criticidade e permite que ações sejam feitas quando o processo diverge do planejamento teórico. Este tipo de situação é bastante corriqueiro no processo artesanal, e pôde ser, inclusive, visto durante os experimentos realizados no presente trabalho. Além disso, é o mestre cervejeiro o responsável por imputar os dados no “software” e deve, portanto, conhecer a fundo os métodos de medição e as informações inseridas.

O software utilizado, BeerSmith<sup>®</sup>, se mostrou uma ferramenta muito útil no auxílio do desenvolvimento de uma receita de cerveja, fornecendo equações coerentes e completas para suas estimativas, tendo todos os parâmetros bem ajustados e é hoje também muito utilizado em pequenas cervejarias.

Outro aspecto importante notado para a obtenção de resultados mais próximos do teórico, alguns ajustes se fazem necessários na condução teórica e experimental. O “software” indica a quantidade de água a ser utilizada na clarificação do mosto e lavagem do bagaço, por

exemplo, porém, é a experiência e conhecimento do mestre cervejeiro que vão determinar a condução das etapas.

Por fim, é possível concluir que este é um “software” bastante útil, mas que poderia obter melhorias de maior interface durante a condução do processo experimental, auxiliando, assim, o mestre cervejeiro na compreensão e reação quando deparado com divergências no processo.

## 6. Referências Bibliográficas

BARTH, R. *The Chemistry of Beer: The Science in the Suds*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013

Beer Page. *Sensory School: The eye of the Beer-Holder*. Disponível em: <<http://beerpage.com/2014/01/08/sensory-school-the-eye-of-the-beer-holder/>>. Acesso em: 14/05/2015.

BJCP STYLE GUIDELINES - Beer Judge Certification Program. *Style Guidelines for Beer, Mead and Cider*, 2008.

Braukaiser. *Carbonation Tables*. Disponível em: <[http://braukaiser.com/wiki/index.php?title=Carbonation\\_Tables](http://braukaiser.com/wiki/index.php?title=Carbonation_Tables)>. Acesso em: 14/06/2015.

BYO, S. *Calculating Gravity, Bitterness, and Color: Techniques*, 2000. Disponível em: <<http://byo.com/boiling/item/409-calculating-gravity-bitterness-and-color-techniques>>. Acesso em: 20/05/2015.

HIERONYMUS, S. *For the love of hops: the practical guide to aroma, bitterness and the culture of hops*. Boulder, CO: Brewer's Publications, 2012.

Home Brew Manual. *A Rough and Ready Guide To Priming Sugar And Carbonatio*. Disponível em: <<http://homebrewmanual.com/priming-sugar-carbonation/>>. Acesso em: 05/06/2015.

MAN, B. *Sensory School: The Eye of the Beer-holder*, 2014. Disponível em: <<http://beerpage.com/2014/01/08/sensory-school-the-eye-of-the-beer-holder/>>. Acesso em: 15/06/2015.

MILLER, D. *Brew like a Pro*. North Adams, MA: Storey Publishing, 2012.

MCGILL, R. *Priming with Sugar*, 2006. Disponível em: <<http://byo.com/issues/item/1271-priming-with-sugar>>. Acesso em: 28/05/2015.

MORADO, R. *Larousse da cerveja*. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

OLIVEIRA, H., DRUMOND, H. *Brasil Beer: o guia de cervejas brasileiras*. 2 ed. Belo Horizonte: Editora Gutenberg, 2014.

PALMER, J. *How To Brew*. 3rd ed. Boulder, CO: Brewer's Publications, 2006.

PALMER, J., KAMINSKI, C. *Water: A Comprehensive Guide for Brewers*. Boulder, CO: Brewer's Publications, 2013.

PAPAZIAN, C. *The Complete Joy of HomeBrewing*. 3rd Ed. New York: HarperCollins, 2003.

PORTO, P. *Tecnologia de Fabricação de Malte: uma revisão*. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

PRIEST, F., STEWART, G. *Handbook of Brewing*. 2nd Ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2006.

ROSA, R. *Sanitizar com Iodoform ou Ácido Peracético?* Cervejarte, 2011. Disponível em: <<http://www.hominilupulo.com.br/cervejas-caseiras/sanitizar-com-iodoform-ou-acido-peracetico/>>. Acesso em: 10/04/2015.

Rock Hoppers Brew Club (RHBC). *Calculating IBUs*. Disponível em: <http://rhbc.co/wiki/calculating-ibus>. Acesso em: 04/06/2015.

SANTOS, S. *Os Promórdios da Cerveja no Brasil*. 2 Ed. Cotia: Ateliê Editorial, 2004.

SCHAEFER, M. *The illustrated guide to brewing beer: a comprehensive handbook of beginning homebrewing*. New York: Skyhorse Publishing, 2012.

SMITH, B. *Diastatic Power and Mashing your Beer*, 2010. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2010/01/04/diastatic-power-and-mashing-your-beer/>>. Acesso em: 15/05/2015.

SMITH, B. *Brewing Hops Storage: Preserving Precious Hops*, 2008. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2008/04/15/brewing-hops-storage-preserving-precious-hops/>>. Acesso em: 16/05/2015.

SMITH, B. *Estimating Bitterness*, 2003. Disponível em: <[http://beersmith.com/Help/estimating\\_bitterness\\_tech.htm](http://beersmith.com/Help/estimating_bitterness_tech.htm)>. Acesso em: 15/05/2015.

SMITH, B. *Calculating Original Gravity for Beer Recipe Design*, 2015. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2015/01/30/calculating-original-gravity-for-beer-recipe-design/>>. Acesso em: 15/05/2015.

SMITH, B. *Beer Color: Understanding SRM, Lovibond and EBC*, 2008. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2008/04/29/beer-color-understanding-srm-lovibond-and-ebc/>>. Acesso em: 16/05/2015.

SMITH, B. *Caramel and Crystal Malt in Beer Brewing*, 2014. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2014/06/26/caramel-and-crystal-malt-in-beer-brewing/>>. Acesso em: 15/05/2015.

SMITH, B. *Apparent and Real Attenuation for Beer Brewers – Part 2*, 2010. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2010/09/14/apparent-and-real-attenuation-for-beer-brewers-part-2/>>. Acesso em: 17/05/2015.

SMITH, B. *Mashing for All Grain Beer Brewing*, 2009. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2009/07/16/mashing-for-all-grain-beer-brewing/>>. Acesso em: 17/05/2015.

SMITH, B. *All Grain Beer Brewing With An Infusion Mash Setup*, 2008. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2008/03/05/all-grain-beer-brewing-with-an-infusion-mash-setup/>>. Acesso em: 17/05/2015.

SMITH, B. *Brewhouse Efficiency vs Mash Efficiency in All Grain Beer Brewing*, 2014. Disponível em: <<http://beersmith.com/blog/2014/11/05/brewhouse-efficiency-vs-mash-efficiency-in-all-grain-beer-brewing/>>. Acesso em: 17/05/2015.

SORENSEN, D. *Impress your Friends - Analyzing the Tinseth Formula*, 2014. Disponível em: <<http://www.homebrewtalk.com/analyzing-tinseth-formula.html>>. Acesso em: 20/05/2015.

WHITE, C., ZAINASHEFF, J. *Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation*. Boulder, CO: Brewer's Publications, 2010.

ZYMURGY, S. *Brew by the numbers – add up what's in your beer*, 1995.