



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS



GUILHERME FIORESE DA SILVA MORAES

**AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE MOSTURAÇÃO, A
PARTIR DA UNIDADE DE GRAVIDADE TOTAL OBTIDA,
EM CERVEJARIA DE BANCADA**

DOURADOS

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUILHERME FIORESE DA SILVA MORAES

**AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE MOSTURAÇÃO, A
PARTIR DA UNIDADE DE GRAVIDADE TOTAL OBTIDA,
EM CERVEJARIA DE BANCADA**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de
Química Industrial da Universidade Estadual de Mato Grosso
do Sul, como requisito para a obtenção do título de graduado
em Química Industrial, sob orientação do Professora Dra.
Leila Cristina Konradt Moraes.*

DOURADOS

2015

M82 Moraes, Guilherme Fiorese da Silva

Avaliação da metodologia de mosturação, a partir da unidade de gravidade total obtida, em cervejaria de bancada / Guilherme Fiorese da Silva Moraes. Dourados, MS: UEMS, 2015

78p. ; 30cm.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Química Industrial – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2015.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Leila Cristina Konradt Moraes.

1.Cerveja artesanal 2. Eficiência de mosturação 3. Unidade de gravidade.
I.Título.

CDD 23.ed. 663.42

GUILHERME FIORESE DA SILVA MORAES

**AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE MOSTURAÇÃO, A PARTIR DA
UNIDADE DE GRAVIDADE TOTAL OBTIDA, EM CERVEJARIA DE
BANCADA**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de
Química Industrial da Universidade Estadual de Mato Grosso
do Sul, como requisito para a obtenção do título de graduado
em Química Industrial, sob orientação do Professora Dra.
Leila Cristina Konradt Moraes.*

APROVADO EM: 27/11/2015

Prof^a. Dr^a. Leila Cristina Konradt Moraes
Orientadora / UEMS

Prof. Dr. José Evaristo Gonçalves
Professor / UEMS

Esp. Felipe Augusto Zuffo
Mestre Cervejeiro / Cervejaria Pantanal

Dourados, 27 de novembro de 2015.

RESUMO

Cerveja é a bebida obtida a partir da fermentação alcoólica do mosto composto de água, malte e lúpulo, por ação de leveduras, podendo-se utilizar outras matérias-primas como adjuntos cervejeiros, frutas, temperos, conforme legislação. Cada vez mais a produção e o consumo de cervejas especiais vêm crescendo no Brasil, juntamente com a variedade de produtos disponíveis. Parte disso deve-se a prática de produção de cervejas artesanais. O processo de produção pode ser simplificado da seguinte maneira, o malte é adicionado a água quente para a liberação de açúcares; em seguida ferve-se a mistura açucarada juntamente ao lúpulo; posteriormente, resfria-se o mosto e adiciona-se o fermento; após, as leveduras fermentam os açúcares, liberando álcool etílico e gás carbônico; e, finalmente, envasilha-se a cerveja em garrafas juntamente com uma pequena quantidade de açúcar para a carbonatação. A eficiência do processo de obtenção do mosto cervejeiro pode variar de acordo com as condições do equipamento e técnicas utilizadas, sendo importante para padronização de receitas e fator indispensável para diminuição de custos de produção. Uma forma de medir a eficiência é através da unidade de gravidade obtida no processo, sendo essa relacionada com a gravidade específica e o volume do mosto obtido. Assim, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar metodologias de mosturação para a cervejaria de bancada disponível no Laboratório de Química Instrumental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, através da variação dos volumes de água nas etapas de mosturação e filtração, mantendo-se o volume total constante. Os volumes utilizados foram de 40, 60 e 80% do volume de água total durante a mosturação. Percebeu-se um ganho significativo na utilização de menor volume durante a mosturação, permitindo uma maior recuperação de extrato da torta de grãos durante as lavagens. Tendo em vista que o lote com 40% de água não foi satisfatório, e o volume de 60% obteve melhores resultados, optou-se por realizar lotes com 50% do volume total de água, obtendo eficiência média de 74,94%, sendo esta a metodologia a de maior eficiência de obtenção de unidade de gravidade total no mosto.

Palavras-chave: Cerveja artesanal. Eficiência de mosturação. Unidade de gravidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento do número de micro-cervejarias nos Estados Unidos durante as décadas de 80 e 90.....	14
Figura 2 – Círculo de aromas e sabores da cerveja.....	17
Figura 3 – Estrutura dos alfa-ácidos (humulonas) e beta-ácidos (lupulonas).....	25
Figura 4 – Faixas de temperatura e pH de atuação de enzimas presentes na mosturação..	33
Figura 5 – Fluxograma das etapas de produção de cerveja.....	44
Figura 6 – Homogeneização do malte em saco de ráfia.....	45
Figura 7 – Pesagem das porções de malte a serem utilizadas em cada batelada.....	46
Figura 8 – Painel espagueteira de 2 peças, com válvula 3/8”	47
Figura 9 – Fogareiro de alta pressão.....	47
Figura 10 – Moedor de cereais.....	47
Figura 11 – Trocador de calor tipo <i>chiller</i> de imersão.....	48
Figura 12 – Borrifador, arrolhador de tampinhas, balança e termômetro alimentícios.....	48
Figura 13 – Balde fermentador com válvula <i>airlock</i>	48
Figura 14 – Rampa de mosturação pretendida para a realização dos ensaios.....	49
Figura 15 – Ponto de moagem dos maltes obtido com o moinho de disco.....	52
Figura 16 – Processo de mosturação na panela cervejeira sem o cesto de grãos.....	53
Figura 17 – Variação de temperatura ao longo do tempo para a mosturação com 2 litros de água (40% do volume total).....	54
Figura 18 – Variação de temperatura ao longo do tempo para a mosturação com 3 litros de água (60% do volume total).....	54
Figura 19 – Variação de temperatura ao longo do tempo para a mosturação com 4 litros de água (80% do volume total).....	55
Figura 20 – Resultado de dois testes de pH realizados durante o processo de mosturação.	55
Figura 21 – Teste de iodo positivo para mosturação com 40% de água.....	56
Figura 22 – Teste de iodo negativo.....	57
Figura 23 – Montagem do equipamento utilizado para a filtração do mosto cervejeiro..	57
Figura 24 – Retirada do mosto primário que será utilizado na recirculação.....	58
Figura 25 – Processo de lavagem da cama de grãos para obtenção do mosto secundário..	60
Figura 26 – Proporção média das unidades de gravidade obtidas no mosto primário e no mosto secundário para as bateladas de: (A) 40% do volume de água total; (B) 60% do volume de água total e (C) 80% do volume de água total.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Íons encontrados na água e seus efeitos nas características da cerveja.....	19
Tabela 2 – Alguns maltes e suas características.....	23
Tabela 3 – Principais grupos enzimáticos e suas funções.....	33
Tabela 4 – Porcentagem de álcool por volume (ABV) por diferença de gravidade específica.....	41
Tabela 5 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto primário...	59
Tabela 6 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto total.....	60
Tabela 7 – Massa específica da água em diferentes temperaturas.....	61
Tabela 8 – Valores de unidades de gravidade (UG) do mosto primário e total.....	62
Tabela 9 – Eficiência de mosturação obtida nos experimentos.....	64
Tabela 10 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto primário..	64
Tabela 11 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto total, para os lotes 8 e 9, com 50% do volume de água total na mosturação.....	65
Tabela 12 – Valores de unidades de gravidades (UG) dos mostos primário e total.....	65
Tabela 13 – Eficiência de mosturação obtida nos lotes 8 e 9.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C. – Antes de Cristo

ABV – *Alcohol by Volume*

BIAB – *Brew in a bag*

BJCP – *Beer judge certification program*

DME – *Dry malt extract*

Ef – Eficiência de extração

FG – Gravidade específica final

FWH – *First worth hopping*

gal – Galão

IBU – *International bitter unit*

K – Constante

kg – Quilograma

L – Litro

lb – Libra massa

LME – *Liquid malt extract*

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

Mi – Massa do ingrediente

OG – Gravidade específica original

pH – Potencial hidrogeniônico

ppm – Parte por milhão

UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

UG – Unidade de gravidade

UG_{kg-L} – Unidade de gravidade para maltes no sistema métrico

UG_{lb-gal} – Unidade de gravidade para maltes no sistema americano

UG_R – Unidade de gravidade real

UG_T – Unidade de gravidade total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1	ORIGEM DA PRODUÇÃO DE CERVEJA.....	10
2.1.1	CERVEJA ATRAVÉS DAS CIVILIZAÇÕES.....	10
2.2	A CERVEJA NA ATUALIDADE NO BRASIL.....	14
2.3	CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DA CERVEJA.....	16
2.4	INGREDIENTES UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE CERVEJA	17
2.4.1	ÁGUA.....	18
2.4.2	MALTE.....	21
2.4.2.1	<i>Maltagem</i>	21
2.4.2.2	<i>Tipos de Malte</i>	22
2.4.2.3	<i>Extrato de Malte</i>	23
2.4.3	LÚPULO.....	24
2.4.4	LEVEDURAS.....	27
2.4.4.1	<i>Tipos ou Famílias de Leveduras</i>	28
2.4.4.1.1	<i>Ale</i>	28
2.4.4.1.2	<i>Lager</i>	29
2.4.4.2	<i>Características Sensoriais</i>	29
2.4.4.3	<i>Atenuação</i>	29
2.4.4.4	<i>Temperatura Ótima de Fermentação</i>	29
2.4.4.5	<i>Floculação</i>	29
2.4.5	ADJUNTOS.....	30
2.5	PROCESSO PRODUTIVO.....	31
2.5.1	PRODUÇÃO DE MOSTO.....	31
2.5.1.1	<i>Moagem</i>	31
2.5.1.2	<i>Mosturação</i>	32
2.5.1.3	<i>Filtração</i>	35
2.5.1.4	<i>Fervura</i>	36
2.5.1.5	<i>Resfriamento</i>	38
2.5.2	PROCESSO FERMENTATIVO.....	38
2.5.2.1	<i>Fermentação Primária</i>	39
2.5.2.2	<i>Maturação</i>	41
2.5.3	ACABAMENTO.....	42

3 OBJETIVOS.....	43
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	43
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.1 INSUMOS.....	45
4.1.1 ÁGUA.....	45
4.1.2 MALTES.....	45
4.1.3 LÚPULO.....	46
4.1.4 LEVEDUA.....	46
4.2 EQUIPAMENTO.....	46
4.3 PREPARO DO MOSTO.....	48
4.3.1 MOAGEM.....	49
4.3.2 MOSTURAÇÃO.....	49
4.3.3 FILTRAÇÃO.....	49
4.3.4 FERVURA.....	50
4.3.5 RESFRIAMENTO.....	50
4.3.6 INOCULAÇÃO.....	51
4.3.7 FERMENTAÇÃO E MATURAÇÃO.....	51
4.3.8 ENVASE.....	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5.1 MOAGEM.....	52
5.2 MOSTURAÇÃO.....	53
5.3 FILTRAÇÃO.....	57
5.4 CALCULO DE EFICIÊNCIA DE EXTRAÇÃO.....	62
6 CONCLUSÕES.....	66
7 REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICE 1.....	69
APÊNDICE 2.....	76

1 INTRODUÇÃO

O Brasil presencia uma significativa expansão na produção e consumo de cervejas artesanais, assim como o surgimento de novas micro-cervejarias e produtores artesanais, conhecidos como *homebrewers*.

O domínio das técnicas que envolvem a produção desta bebida milenar é importante para aprimorar a qualidade e permitir que o produtor atinja o resultado esperado quando se elabora uma receita.

Muitos *homebrewers* utilizam aplicativos e programas para desenvolvimento de receitas e ignoram diversas informações importantes na elaboração da bebida, trabalhando de forma metódica sem compreender os processos que envolvem a produção.

A eficiência da mosturação diferencia-se de acordo com o equipamento e as técnicas utilizadas, sendo de extrema importância tanto para reduzir os custos, quanto para permitir a reprodução de uma receita, já que alguns produtores caseiros se arriscam a entrar no mercado cervejeiro.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a metodologia de mosturação, a partir da unidade de gravidade total obtida, em cervejaria de bancada, utilizando um equipamento disponível para experimentos do curso de Química Industrial da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORIGEM DA PRODUÇÃO DE CERVEJA

Há 30 mil anos o consumo de bebidas alcoólicas é comum entre diversas culturas e civilizações (AQUARONE et al., 2001), sendo que, segundo registros históricos, a produção de cervejas teve seu início a pelo menos 8000 anos (BAMFORTH, 2003). O desenvolvimento desta bebida foi paralelo ao crescimento das culturas de cereais como milho, centeio e cevada nas antigas civilizações (AQUARONE et al., 2001).

A origem da cerveja é desconhecida, sendo que umas das teorias conhecidas é que ela foi descoberta por acaso na região da Mesopotâmia, durante o período neolítico, quando uma mulher, responsável pelos afazeres domésticos, permitiu que um cesto cheio de grãos de cereais recebesse uma chuva, acidentalmente, o que proporcionou condições para que ocorresse a germinação dos cereais. Para que não houvesse desperdício, os grãos germinados foram submetidos a aquecimento, resultando em um líquido açucarado, propício para a proliferação de leveduras. Mais alguns dias foram suficientes para a bebida fermentar, resultando na produção de álcool e gás carbônico. Desta forma foi criada uma bebida fermentada, ancestral à cerveja (BELTRAMELLI, 2012). Uma teoria recente, relata que um antecessor da cerveja era produzido na Amazônia 2000 anos antes (BAMFORTH, 2003).

2.1.1 CERVEJA ATRAVÉS DAS CIVILIZAÇÕES

Pouco se sabe sobre as antigas cervejas da humanidade em relação aos seus aromas, sabores e aspectos visuais. Mas é certo que elas eram utilizadas mais como alimento do que como bebida recreacional, devido a suas propriedades sanitárias e nutricionais (BELTRAMELLI, 2012).

Evidências apontam que a cerveja já era fabricada, através de um método pouco parecido com o atual, na Babilônia, no ano de 6000 a.C., onde, anos depois, passou a ocupar um lugar de importância nos ritos religiosos no Egito, sendo distribuída ao povo. Produzida por padeiros, ainda que de forma primitiva, a cevada era deixada de molho até germinar e então moída grosseiramente, moldada em bolos aos quais se adicionava a levedura. Estes eram parcialmente assados e desfeitos, colocados em jarra com água e deixados fermentar (VENTURINI FILHO, 2010).

A cerveja tornou-se uma peça vital para a economia dos Egípcios, materializando-se

como moeda de troca. Afirma-se que o pagamento dos operários durante a construção das pirâmides de Gizé foi feito integralmente por esta moeda. Atribui-se também aos faraós a tributação da cerveja, onde, por volta de 3100 a 2700 a.C., alcançava posição base na alimentação da população (BELTRAMELLI, 2012).

Os Egípcios passaram a cultura cervejeira para os Gregos e Romanos, entretanto, ao Sul da Europa o cultivo do vinho predominou, as condições de clima e solo eram próprias para produção de frutas, entre elas a uva (BELTRAMELLI, 2012). O vinho era bebida exclusiva da classe alta, restando aos pobres o consumo do fermentados de cereais (BAMFORTH, 2003), o qual era visto pelos greco-romanos como uma bebida inferior.

Platão considerava que era a cerveja que tornava os povos bárbaros mais agressivos, instintivos e irracionais, enquanto Aristóteles dizia que o vinho fazia com que os bêbados caíssem para frente, e os cervejeiros caíam para trás, em posições certamente humilhantes (BELTRAMELLI, 2012). Este preconceito atravessou gerações e contribuiu para colocar o vinho em um estado de nobreza.

A Europa medieval ostentava uma clara divisão durante a Idade Média. Esta divisão deriva tanto das influências do império Romano, quanto de características geográficas. Ao Norte, onde as condições eram propícias ao cultivo de cereais, a cerveja era a bebida da família, pois consumi-la era mais seguro que água. Além de ter um sabor melhor, a cerveja passava por um processo de fervura, que não ocorria com o suprimento de água local (BAMFORTH, 2004). Ao Sul, como já mencionado, a cultura do vinho predominou.

Registros apontam que uma bebida chamada Courni, fermentada a partir da cevada, era produzida durante o primeiro século d.C. por Bretões e Irlandeses e na Inglaterra, provavelmente, desde 3000 a.C. (BAMFORTH, 2003).

Por muito, a produção de cerveja foi uma das atividades atribuídas as mulheres, que as produziam em suas residências, como qualquer outro alimento destinado a família. Os primeiros homens a realizar esta função foram os monges católicos, que levaram a arte da produção para dentro dos mosteiros (BELTRAMELLI, 2012).

Grande parte da história da indústria cervejeira na idade média está entrelaçada com a igreja. Os monges daquela época acreditavam que a argamassa usada na construção das igrejas era melhor quando misturada com cerveja, ao invés de água. Registros no *The Domesday Book*, de 1086, afirmam que os monges da Catedral de St. Pauls, em Londres, produziam cerca de 70 mil galões ingleses de cerveja por ano, o que equivale a aproximadamente 318 mil litros por

ano (BAMFORTH, 2003).

Dos diversos povos bárbaros que povoavam o norte da Europa durante o império romano, os germânicos se destacaram na produção de cerveja, sendo os primeiros a utilizar o Lúpulo em suas produções. O resultado foi a obtenção de uma bebida mais próxima da produzida na atualidade (AQUARONE et al., 2001).

O aromatizante por muito tempo utilizado era o Gruit, composto de diversas ervas e especiarias, podendo variar sua composição conforme a época e o produtor. Zimbro, gengibre, murta-do-pântano, cominho, anis, noz-moscada, canela, alecrim, artemísia, junípero e lúpulo eram ingredientes utilizados no Gruit (BELTRAMELLI, 2012).

Hildegarda von Bingen, canonizada em 1584 pelo papa gregório XIII, foi responsável pelo estudo e registro das propriedades medicinais de diversas plantas, e foi através de uma de suas publicações, o *Liber subtilitatum diversarum naturarum creaturarum* (Livro das propriedades – ou sutilezas – das várias criaturas da natureza), de 1167, que as propriedades do lúpulo aplicado à cerveja tornaram-se conhecidas, isto estimulou que os germânicos utilizassem o lúpulo em suas produções, já que o comércio do Gruit era controlado e tributado pela Igreja Católica, tornando a especiaria mais cara. Aos poucos, a utilização do lúpulo foi tornando-se mais popular, já que além de mais barato, proporcionava uma melhor conservação da bebida (BELTRAMELLI, 2012).

Em 1516, na Bavária, região meridional da Alemanha, Guilherme IV, duque da Bavária, proclamou a lei da pureza da cerveja, *Reinheitsgebot*, que limita os ingredientes utilizados na produção em apenas três: água, malte e lúpulo (AQUARONE et al., 2001). A utilização das leveduras ainda era desconhecida. A instalação desta lei foi importante para garantir a qualidade das cervejas produzidas na região da Alemanha, sendo reconhecida como a primeira lei de segurança alimentar que se tem registro (BELTRAMELLI, 2012).

O processo de produção da cerveja, assim como as matérias-primas utilizadas, evoluiu juntamente com as civilizações que a produzia. A fermentação do mosto cervejeiro era atribuída, por diversas civilizações, a entidades divinas, atuando diretamente naquela bebida. Somente no século XIX que Louis Pasteur (1822-1895) veio a derrubar este mito com a descoberta das leveduras (BELTRAMELLI, 2012).

A proibição das bebidas alcoólicas nos Estados Unidos originou-se no início do século XIX, mais precisamente entre 1920, em 13 Estados. O governo começou a bloquear quaisquer bebidas intoxicantes, definidas por possuírem teor alcoólico superior a 0,5%. Estoques de

cervejas foram destruídos e 478 cervejarias foram impossibilitadas de manter suas atividades primárias, desenvolvendo produtos alternativos tais como sorvetes e bebidas maltadas não alcoólicas. Devido a esta lei, começaram a surgir produções caseiras ilegais de cerveja, de elaboração duvidosa. A dificuldade para uma cervejaria voltar a produzir depois de 13 anos de inatividade fez com que apenas as grandes empresas, com mais recursos, voltassem a atividade. O que ocasionou uma tremenda racionalização na indústria cervejeira, com cada vez menos empresas produzindo maiores volumes. Essa tendência seguiu para diversos outros países, com as grandes empresas adquirindo os direitos de produção das pequenas (BAMFORTH, 2003).

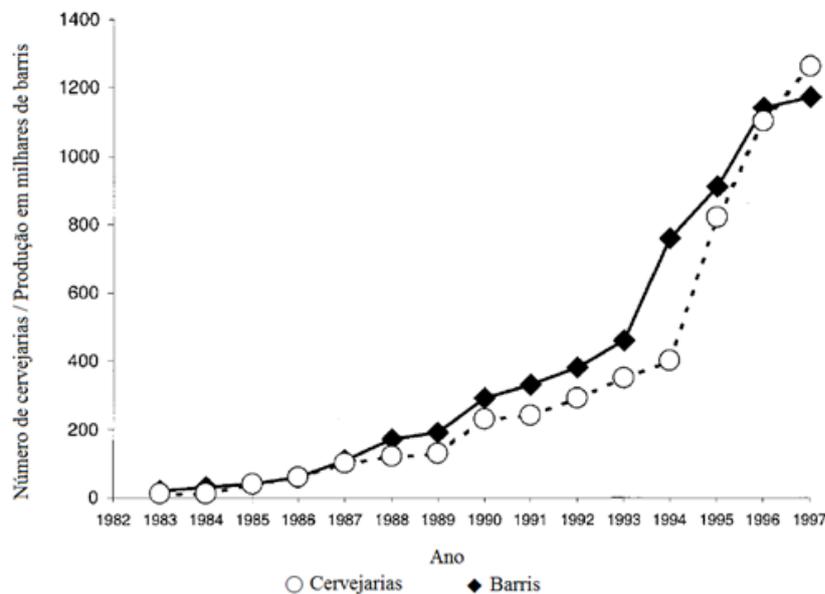
A invenção da pasteurização possibilitou uma revolução tanto na área da saúde quanto na de alimentos, permitindo uma produção em larga escala, pois os produtos gerados levariam mais tempo para se deteriorar. Assim, a indústria cervejeira espalhou-se pelo mundo, obtendo grandes fortunas (BETRAMELLI, 2012).

O estilo de cerveja *standard lager*, de sabor leve e refrescante, alavancou esta expansão. O baixo custo deste estilo devido a possibilidade da utilização de adjuntos cervejeiros como milho e arroz, juntamente com o desenvolvimento de recipientes de alumínio em 1957, por William K. Coors, foram responsáveis pela grande imersão deste estilo no mercado mundial (BETRAMELLI, 2012).

Ao extremo dessa realidade, alguns anos depois, surgiram micro-cervejarias e *Brewpubs*. Segundo *Brewers Association* (2015), micro-cervejarias são aquelas que produzem menos de quinze mil barris ou 17600 hectolitros (hL) de cerveja por ano, e destes, mais de 75% são vendidos fora de suas instalações. Já os *Brewpubs* são restaurantes que produzem cerveja e vendem mais de 25% de seus produtos dentro de suas instalações, diretamente dos tanques de armazenamento (BAMFORTH, 2003).

O crescimento das micro-cervejarias durante as décadas de 80 e 90, juntamente com a quantidade de barris de cerveja produzidos nos Estados Unidos, está ilustrado na **Figura 1**.

Figura 1 – Crescimento do número de micro-cervejarias no Estados Unidos durante as décadas de 80 e 90.



Fonte: Bamforth (2003).

2.2 A CERVEJA NA ATUALIDADE NO BRASIL

De acordo com art. 36 do decreto n° 6.871, de 4 de junho de 2009, cerveja é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo. Podendo ser classificada, de acordo com: seu extrato primitivo, em cerveja leve, cerveja light, cerveja comum, cerveja extra e cerveja forte; quanto a cor, em cerveja clara, escura ou colorida; quanto ao teor alcoólico, em cerveja sem álcool ou cerveja com álcool; quanto a proporção de malte, em cerveja puro malte, cerveja ou cerveja seguido do nome do vegetal utilizado; quanto a fermentação, em baixa ou alta fermentação (BRASIL, 2009).

A legislação brasileira classifica as cervejas de acordo com seu tipo, ou estilo, desde que estes sejam reconhecidos internacionalmente (BRASIL, 2009). Um dos órgãos que tem como função classificar internacionalmente os estilos cervejas é o *Beer judge certification program* (BJCP). Criado em 1985, o BJCP é um programa sem fins lucrativos que encoraja o avanço dos estudos de pessoas que estão envolvidas com avaliações de cervejas, hidroméis e cidras, formando juízes através de exames. O programa também é responsável por manter atualizado um guia de estilos de cervejas (BJCP, 2015). Este classifica as cervejas em categorias, subcategorias e estilos, levando em consideração a aparência, aroma, sabor, cor, amargor,

graduação alcoólica, origem histórica, ingredientes característicos, entre outros aspectos, para classificar mais de 120 estilos de cerveja (STRONG, 2015).

As cervejas podem ser categorizadas em estilos, ou tipos, sendo estes uma forma de agrupar cervejas com uma característica principal em comum. O guia do BJCP descreve cada estilo com uma descrição bem definida. Características como tipo de levedura utilizada, região onde a bebida foi criada, ingredientes, entre outros, são fatores para diferenciarem os estilos (STRONG, 2015).

A lei nº 8.918, de julho de 1994 estabelece a obrigatoriedade do registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e comércio de bebidas em todo território nacional, e é conhecida como Lei de bebidas em geral (BRASIL, 1994). Esta é regulamentada pelo decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009.

Segundo o Art. 4º da lei 8.918/1994, os estabelecimentos que industrializem ou importem bebidas ou que as comercializem a granel, só poderão fazê-lo se obedecerem, em seus equipamentos, instalações e produtos, os padrões de identidade e qualidade previstos por esta lei (BRASIL, 1994).

O órgão responsável pela fiscalização da produção de bebidas no Brasil é o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Originalmente, em 1860, o MAPA era denominado Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, Comércio e Obras Públicas, criada por decisão da Assembleia Legislativa. Após 32 anos de funcionamento, sua estrutura foi extinta devido a instituição da República, tendo suas atribuições incorporadas pelo Ministério da Indústria, Viação e Obras Públicas. Após muitas outras alterações, surge o MAPA, através da medida provisória 2216-37, de 31 de agosto de 2001, tendo como missão promover o desenvolvimento sustentável e a competitividade do agronegócio em benefício da sociedade brasileira (MAPA, 20--).

Sabe-se que 48% dos 1,33 bilhões de hectolitros de cerveja produzidos no mundo em 1998 vinham de apenas 10 companhias. É notável que destas grandes cervejarias, algumas localizam-se em países onde o consumo per capita de cerveja não justifica tamanha produção, por exemplo, no Brasil. O consumo per capita no nosso país é de longe menor que o consumo na Alemanha, entretanto, possui uma das maiores cervejarias no “top 10” mundial, a Ambev, formada pela fusão de duas entidades, Brahma e Antártica (BAMFORTH, 2003). Hoje, a Companhia de Bebidas das Américas (Ambev), faz parte da *Anheuser-Busch Inbev N.V/S.A* (ABI), maior grupo cervejeiro do mundo (AMBEV, 2014).

Segundo Pedro Paranhos (2015), supervisor de comunicação da franquia Mestre-Cervejeiro.com, mesmo com a crise econômica brasileira de 2015, o mercado de cervejas artesanais não parou de se desenvolver, com um crescimento estimado de 30% ao ano, cerca de 10% menor que nos anos anteriores. A tendência do mercado é o surgimento de bebidas cada vez mais criativas e inovadoras, com maior liberdade para trabalhar estilos menos conhecidos, com ingredientes exóticos e cervejas envelhecidas em barris de madeira. Para isso, serão necessárias mudanças na legislação perante ao MAPA, permitindo uma maior agilidade no registro de receitas e a utilização de novos ingredientes, sem descaracterizar o produto. Haverá também uma seleção natural no mercado de cervejas, onde as empresas terão que cada vez mais se qualificar para atender a demanda que se mostra cada vez mais exigente, o que reflete não somente na qualidade do produto, mas também em todos os setores envolvidos com o consumo de cervejas artesanais (PARANHOS, 2015).

2.3 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DA CERVEJA

Há 50 anos começou-se a desenvolver pesquisas a respeito de características sensoriais dos sabores e aromas das cervejas. As terminologias utilizadas na avaliação de qualidade de alimentos são muito variáveis, em função do estágio de desenvolvimento tecnológico, sendo necessário padronizá-las (VENTURINI FILHO, 2010).

Aromas e sabores são parâmetros complexos, dependentes de muitos compostos, que necessitam de um sistema de nomenclatura adequado que permita aos avaliadores mensurar a real complexidade das informações obtidas (VENTURINI FILHO, 2010).

Portanto, criou-se uma terminologia internacional que reúne cerca de 120 termos referentes a cerveja, dispostos resumidamente em um “Círculo dos aromas e sabores” (VENTURINI FILHO, 2010), como demonstrado na **Figura 2**.

biológica por meio de processos químicos; e substituição do lúpulo ou seus derivados por outros princípios amargo; são práticas proibidas no processo de produção de cerveja (BRASIL, 2009).

2.4.1 ÁGUA

Normalmente de 85 a 95% da cerveja é composta por água, e quaisquer sabores e odores desagradáveis oriundos desta matéria-prima podem ter impactos significantes na qualidade do produto final (JANSON, 1996).

Existem opções acessíveis de tratamento da água para os cervejeiros caseiros. Diversos odores, podem ser removidos através da fervura, incluindo aquele proveniente da presença de cloro, com exceção da cloramina, que resulta em um sabor medicinal na bebida. Esta e outras substâncias não removíveis através de fervura, gases e substâncias orgânicas dissolvidas podem ser retiradas com a utilização de um filtro com carvão ativo. Estes métodos são relativamente baratos. Filtros podem ser instalados diretamente nas tubulações de água destinadas a produção. Se a água contiver um sabor metálico, ou deixar depósitos de sedimentos nos encanamentos, esta pode ser submetida a aeração e fervura, o que proporcionará a retirada dos minerais em excesso precipitados após o resfriamento (PALMER, 2006).

A composição química da água utilizada nas produções é de extrema importância, características como pH e dureza, assim como a concentração de diversos íons, influenciam diretamente em várias características da cerveja. Isto explica toda a atenção dada a qualidade da água durante a instalação de uma cervejaria.

De acordo com Deeds (2013), mesmo que a tecnologia moderna permita a adequação de qualquer água a um perfil de qualidade determinado, através de filtros e adição quantitativa de íons, uma fonte com um perfil químico mais próximo do desejado pode baratear significativamente o custo de operação de uma cervejaria. A adequação da composição iônica é uma das formas mais sutis de se realizar um “ajuste fino” em uma receita de cerveja, porém, caso as correções necessárias não sejam realizadas da forma correta, o produto final pode tornar-se “intragável”.

Segundo Aquarone e colaboradores (2001), uma boa água cervejeira deve ser potável, transparente, incolor, inodora e livre de qualquer sabor estranho. Também deve apresentar em sua fonte alcalinidade máxima de 50 ppm, podendo-se trabalhar com pH na faixa de 4 a 9.

O pH do sistema durante a mosturação é muito importante e influencia desde a eficiência

da conversão das macromoléculas até a otimização dos processos fermentativos. Mas este não está relacionado somente com o pH água, já que ela contribui com poucos íons em relação aos fornecidos pelos maltes. Uma maneira comum de regular o pH é através da adição de ácido láctico (DEEDS, 2013).

Para uma produção caseira, a fonte de água basicamente deve ser potável. A água fornecida publicamente no Brasil passa por um tratamento em que uma das etapas é a adição de cloro para sua desinfecção (BRASIL, 2011). O cloro é um elemento indesejado nas produções de cerveja, mas devido ao processo conter etapas com temperaturas elevadas, o cloro não representa grande problema devido a sua volatilidade.

Observa-se na **Tabela 1** diversos íons encontrados na água que podem influenciar em diversas características da cerveja, podendo proporcionar grandes impactos na qualidade do produto final.

Tabela 1 - íons encontrados na água e seus efeitos nas características da cerveja.

Continua.

Íon	Efeito
Cálcio (Ca ²⁺)	Em níveis adequados é necessário para a as leveduras. Auxilia a maximizar a extração de amargor do lúpulo e na clarificação e estabilidade da cerveja. Em excesso pode remover do mosto nutrientes essenciais para as leveduras e causar turbidez.
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	Em altos níveis, extrai um amargor excessivo do lúpulo. Usualmente mascarado em cervejas mais fortes.
Cloro (Cl ⁻)	Aumenta o amargor, estabilidade e limpidez da cerveja. Em níveis moderados proporciona um agradável corpo e dulçor a cerveja. Em níveis elevados pode inibir a flocculação da levedura.
Cobre (Cu ²⁺)	Em determinadas concentrações pode causar mutação indesejada e morte das leveduras. Também é responsável por turbidez. Presente em nível de traços é necessário para a viabilidade das leveduras.
Flúor (F ⁻)	Não possui efeitos conhecidos em relação a produção de cerveja.
Iodo (I ⁻)	Utilizado para o teste de conversão de carboidratos e também como agente sanitizante. Quando presente, pode proporcionar sabor seco e leve amargor em altas concentrações.
Ferro (Fe ²⁺ /Fe ³⁺)	Essencial em nível de traços. Em excesso pode inibir o metabolismo das leveduras, causar turbidez e proporcionar sabor indesejado de metal.

Tabela 1 - íons encontrados na água e seus efeitos nas características da cerveja.

Íon	Efeito	Conclusão.
Chumbo (Pb ²⁺)	Causa turbidez e é prejudicial a saúde.	
Magnésio (Mg ²⁺)	Essencial para o metabolismo das leveduras. Em quantidades pequenas contribui agradavelmente no sabor, quando em excesso, gera um forte amargor.	
Manganês (Mn ²⁺)	Essencial para o metabolismo das leveduras em nível de traços, acima disto, resulta em sabores não desejados.	
Níquel (Ni ²⁺)	Quando presente acima de níveis de traços, contribui com sabor metálico a bebida.	
Nitrato (NO ₂ ²⁻)	Não possui efeito no sabor ou na vitalidade das leveduras, entretanto pode ser convertido em nitrito por bactérias contaminantes.	
Nitrito (NO ₃ ⁺)	Extremamente tóxico para leveduras, mesmo em níveis de traço.	
Potássio (K ⁺)	Proporciona um sabor salgado a cerveja, em excesso pode inibir o metabolismo das leveduras.	
Silicato (SiO ₄ ⁴⁻)	Não causa alterações no sabor. Pode prejudicar na filtração e causar turbidez da cerveja e deposição no equipamento.	
Sódio (Na ⁺)	Em níveis normais auxilia no sabor, proporcionando maior equilíbrio ao corpo. Em presença de sulfato pode proporcionar uma aspereza desagradável.	
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	Proporciona um corpo cheio, áspero e seco para a cerveja. Juntamente com o sódio proporciona uma aspereza desagradável.	
Estanho (Sn ²⁺)	Pode causar turbidez e sabor metálico.	
Zinco (Zn ²⁺)	Essencial a levedura em níveis de traço e prejudicial em níveis elevados.	

Fonte: Adaptado de Janson (1996).

A água não entra somente como ingrediente na produção de cerveja, mas como meio de limpeza e geração de vapor. O gasto médio de água em uma cervejaria varia de 4 a 10 vezes o volume de cerveja produzido, dependendo da eficiência da planta cervejeira (AQUARONE et al., 2001).

2.4.2 MALTE

A cerveja é produzida através da fermentação dos açúcares extraídos dos grãos de malte. A maltagem é o processo em que grãos de cevada, ou outros cereais, são hidratados de maneira a iniciar um processo germinativo, ativando as enzimas responsáveis de converter as reservas de amido e proteínas, em açúcares e aminoácidos, utilizados no crescimento da planta. Uma vez que os grãos começam a germinar, seca-se em estufa, de maneira a inativar as enzimas, permitindo que o cervejeiro as reutilize quando desejado (PALMER, 2006).

A denominação malte é utilizada para aquele produzido de cevada. Todos os produzidos de outros cereais devem conter o nome do cereal, como por exemplo, malte de trigo (BRASIL, 2009).

2.4.2.1 Maltagem

O objetivo principal da maltagem dos grãos é a elevação do conteúdo enzimático, através da germinação, aumentando o seu poder diastático, responsável pela degradação das macromoléculas em moléculas menores e mais solúveis no mosto (BAMFORTH, 2003).

Segundo Aquarone e colaboradores (2001), o processo de maltagem ocorre em três etapas, maceração, germinação e secagem.

Na primeira etapa, a cevada limpa e classificada é colocada em tanques cilíndricos para ser macerada com água. Troca-se a água de maceração, que se encontra em uma faixa de temperatura entre 5 e 18 °C, a cada 6 a 8 horas. Durante essas trocas de água, é fornecido oxigênio necessário para a respiração dos embriões. Aproximadamente 2 dias depois, encerra-se o processo quando a umidade da cevada atinge a faixa de 42 a 48 %.

A segunda etapa, consiste na germinação dos embriões em compartimentos adequados, comumente contendo fundo falso, sobre o qual repousa uma camada de cevada, ou outros grãos, de 0,25 a 1,5 metros de espessura. Submete-se o leito de grãos a um fluxo de ar úmido, com temperatura de 15 a 21 °C. Encerra-se esta etapa quando a estrutura do embrião adquire aproximadamente dois terços do comprimento do grão. Este processo dura em média de 4 a 6 dias.

Interrompe-se o processo germinativo através da terceira e última etapa da maltagem, a secagem. Dentro de secadores, que se assemelham com os germinadores, os grãos recebem um fluxo de ar quente e seco sob um fundo falso. Durante esta etapa, a temperatura do ar seco e o

tempo de exposição influenciam na qualidade do malte. Secagem com baixas temperaturas e longos períodos de exposição resultam em um malte claro, com alta concentração enzimática. Ao contrário, uma secagem rápida e com ar quente, produz maltes mais escuros e com conteúdo enzimático deficiente.

Aquarone e colaboradores (2001) ainda subdivide o processo de secagem em outras três etapas. Na primeira trabalha-se com ar na faixa de 49 a 60 °C, diminuindo a umidade dos grãos de 48 % a valores próximos de 23 %. Na segunda etapa, reduz-se o fluxo de ar e aumenta-se a temperatura para cerca de 71 °C até que o malte atinja 12 % de umidade. Por fim, reduz-se o fluxo de ar e eleva-se a temperatura até uma faixa entre 88 e 100 °C, até que a umidade caia para uma faixa de 2 a 5 %, dependendo do tipo de malte produzido.

2.4.2.2 Tipos de Malte

Embora diversos cereais possam ser maltados de maneira satisfatória, a cevada é a mais utilizada, pois apresenta menores dificuldades técnicas durante o processo, alto teor de amido, quantidade e qualidade de proteínas suficiente para a fermentação, formação de espuma no produto acabado e a presença de casca, que possui um valor tecnológico importante, sendo utilizada como meio filtrante durante a produção do mosto (AQUARONE et al., 2001).

Uma grande variedade de maltes está disponível para a indústria e para os produtores artesanais. Estes são subdivididos basicamente em duas categorias, maltes base e especial. Os maltes base possuem pouca contribuição de cor, alto conteúdo amiláceo e grande poder diastático, ou seja, alta concentração de enzimas, podendo compor 100 % da massa de grãos utilizada em uma cerveja. Já os maltes especiais possuem diversas outras características e funções, que variam para cada produto (PRIEST e STEWART, 2006). Maltes pilsen e pale ale são exemplos de maltes base, enquanto carafa, cristal e chocolate são alguns maltes especiais que podemos citar.

Algumas características da cerveja como o corpo, teor alcoólico e retenção de espuma, são frutos dos açúcares e proteínas provenientes dos maltes. Existem diversas variedades de malte, produzidos tanto de diferentes grãos, quanto de diferentes técnicas de maltagem, como pode ser observado na **Tabela 2**.

Diversos estilos de cerveja necessitam de diferentes tipos de ingredientes em sua composição, o guia de estilos de cervejas do BJCP é uma fonte confiável de informações sobre as características e composição de ingredientes de cada estilo de cerveja.

Tabela 2 - alguns maltes e suas características.

Nome	Características
<i>Pilsen</i>	Malte base para produção de todos os tipos de cervejas, podendo-se utilizar até 100% na receita.
<i>Pale Ale</i>	Pode ser utilizado para produção de cervejas <i>ales, porters, lagers, stouts</i> , belgas. Possui baixo teor de proteína e glúcans, facilitando a clarificação e rendimento. Possui notas de pão, frutas secas e mel.
Malte <i>Amber</i>	Malte britânico, proporciona uma coloração acobreada de alta qualidade e <i>flavour</i> de biscoito.
Malte 2 fileiras	Pouco ou nenhuma contribuição em sabor. Alto teor de amido, portanto, alto potencial de açúcares fermentescíveis. Sua fina casca resulta em menos taninos.
Malte 6 fileiras	Baixa contribuição com sabor. Possui menos amido que o 2 fileiras e cascas mais espessas, que podem contribuir com uma maior quantidade de taninos.
<i>Black Patent</i>	Tostado a altas temperaturas as quais eliminam os sabores de malte. Proporciona uma coloração negra e sabor de torrefação, especialmente quando utilizado em excesso.
<i>British Mild</i>	Malte especial, seco a altas temperaturas, produz um leve sabor tostado proveniente de maltes britânicos. Proporciona coloração de dourado âmbar.
Malte <i>Chocolate</i>	Malte altamente tostado, com suaves sabores de amêndoas e de malte torrado.
Crystal ou Caramelo	Malte seco especialmente para produzir a cristalização dos açúcares, ao invés da sua conversão. Proporciona características como retenção de espuma, dulçor e sabor encorpado para a cerveja. Também proporciona coloração de dourado a cobre.
Muniqué	Malte especial altamente tostado, similar ao malte Vienna. Proporciona sabor maltado e de caramelo e uma coloração âmbar profunda.
Cevada assada	Cevada não maltada assada de aparência marrom escura. Proporciona um agradável amargor semelhante ao de grãos de café. Também concede coloração escura a cerveja.
Cevada tostada	Cevada levemente cozida de aparência marrom clara. O sabor tostado é bem mais sutil do que o da cevada assada.
Vienna	Malte especial altamente tostado, similar ao malte Muniqué. Proporciona um corpo intenso e coloração âmbar.
Malte de trigo	Malte especial utilizado em cervejas de trigo, conhecidos como cervejas brancas. Proporciona um sabor azedo ou amargo acompanhado de sabores frutados. Altos níveis de proteínas resultam em uma cerveja de aparência turva.

Fonte: Adaptado de Janson (1996) e Agrária (2015).

2.4.2.3 Extrato de Malte

Uma maneira mais simples, porém, menos comum no Brasil, devido ao mercado de insumos para produção de cerveja artesanal ainda estar em expansão, é a utilização de extratos de malte, podendo ser em estado líquido (LME), ou em pó (DME). O LME, do inglês, *liquid malt extract*, ou extrato de malte líquido, é um xarope de malte que contém aproximadamente 20% de água em sua composição, enquanto o DME, *dry malt extract*, ou extrato de malte seco é produzido através da dispersão do LME, através de uma câmara de atomização aquecida, onde uma corrente de ar quente mantém as gotículas suspensas até que estejam secas e se depositem na superfície inferior do equipamento (PALMER, 2006). A utilização de extratos como ingrediente na produção de cerveja não será abordada neste trabalho devido a sua utilização ser pouco comum em produções caseiras no Brasil.

2.4.3 LÚPULO

O lúpulo (*Humulus lupulus*) é uma trepadeira da família *Cannabinaceae*, que produz flores de formato cônico (PRIEST e STEWERT, 2006), nativo de regiões de clima temperado no norte da América, Europa e Ásia. A espécie possui dimorfismo sexual e somente a fêmea produz os cones. Para fins comerciais é cultivado em cabos verticais de mais de 6 metros de altura, que facilitam a coleta das trepadeiras (PALMER, 2006).

O sabor amargo proveniente dos lúpulos é responsável por equilibrar o dulçor da cerveja proveniente dos maltes, tornando a bebida mais agradável ao paladar. Ele também proporciona propriedades bacteriostáticas, aumentando a segurança e potabilidade do produto final (DANIELS, 1996). Segundo Aquarone e colaboradores (2001), os iso-alfa-ácidos contidos no lúpulo, são responsáveis pela ação antisséptica.

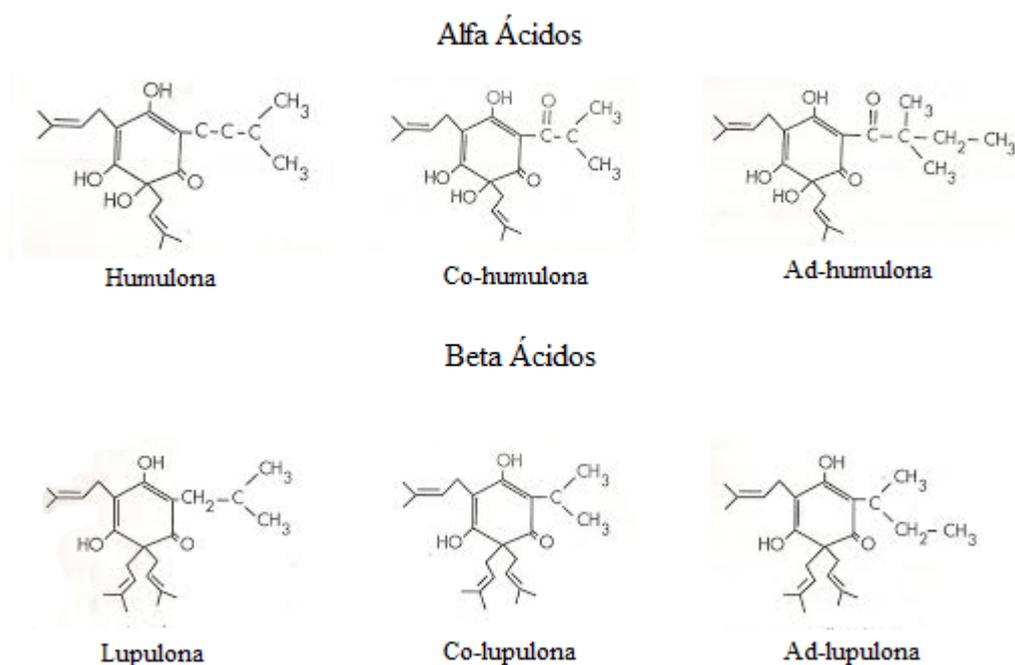
As flores femininas, ou os frutos delas decorrentes, são ricos em glândulas amarelas, responsáveis por liberar resinas e óleos que compõe a produção de cerveja. Na presença de flores macho, estas produzirão sementes, indesejadas para a produção de cerveja (PRIEST e STEWART, 2006).

Os três principais grupos de compostos químicos contidos no lúpulo são as resinas pesadas, resinas leves e óleos essenciais, sendo que o primeiro dos grupos não possui contribuição no sabor e aroma da cerveja, portanto não é de interesse dos cervejeiros (JANSON, 1996).

De acordo com Janson (1996), existem mais de dois mil e cinquenta óleos essenciais nas flores de lúpulo, que contribuem para os aromas e sabores não relacionados ao amargor. Podendo ser subdivididos em hidrocarbonetos, óleos essenciais oxigenados, óleos essenciais cítricos/amadeirados e óleos essenciais sulfurosos.

Dentro do grupo das resinas leves são incluídos os alfa e beta ácidos (**Figura 3**), que concedem grande parte do amargor à cerveja, sendo que os alfa-ácidos são preferencialmente desejados. Estes necessitam passar por um processo de isomerização, por meio da fervura do mosto lúpulado, para tornarem-se solúveis em água (PALMER, 2006). Os alfa-ácidos também são conhecidos como humulonas, e os beta-ácidos como lupulonas (AQUARONE et al., 2001).

Figura 3 – Estrutura dos alfa-ácidos (humulonas) e beta-ácidos (lupulonas).



Fonte: Adaptado de Janson (1996).

A fervura do lúpulo também é necessária para a solubilização das substâncias responsáveis pelo amargor, entretanto, os óleos que contribuem com sabores e aromas característicos são voláteis e perdem-se consideravelmente durante o processo (PALMER, 2006).

A oxidação do lúpulo é um problema comum entre os cervejeiros e deve ser evitado, já

que esta oxidação muda uma das principais ligações responsáveis pela isomerização dos alfa-ácidos, impossibilitando sua dissolução em água (JANSON, 1996).

Existem muitas variedades de lúpulo, classificadas de acordo com a origem da variedade e o local de seu cultivo. Diferentes lúpulos possuem diferentes características sensoriais, podendo conter sabores cítricos de maracujá, característico do lúpulo Americano, sabores frutados, terrosos, entre outros.

De maneira mais simples, o lúpulo pode ser categorizado em duas denominações, aroma ou amargor. Lúpulos de amargor geralmente possuem altos teores de alfa-ácidos, aproximadamente 10% de seu peso, já os lúpulos de aroma possuem um teor de alfa-ácidos próximo de 5% e contribuem com aromas e sabores mais agradáveis a cerveja (PALMER, 2006).

De acordo com Daniels (1996), a quantidade de alfa-ácidos em um lúpulo pode variar consideravelmente, de um valor mínimo de 2% a cerca de 16% do peso total da flor. Essa variação pode acontecer devido a espécie, a variações na qualidade da safra e a diferentes regiões de cultivo.

O lúpulo pode ser encontrado comercialmente na forma de cones secos, em *pellets* ou na forma de extrato. As duas últimas formas, que possuem a maior concentração de alfa-ácidos, exigem um menor espaço de armazenamento e maior estabilidade em temperatura ambiente. Devido a esta facilidade de manutenção, os lúpulos em *pellets* são comumente utilizados tanto pela indústria quanto por cervejeiros artesanais (AQUARONE et al., 2001).

Uma forma de medir o amargor presente em uma cerveja é através do Sistema Internacional de Amargor, *International Bitter Units* (IBU). Este é uma relação direta com a concentração de iso-alfa-ácidos em partes por milhão em uma cerveja pronta para o consumo. Ou seja, 1 IBU equivale a 1 mL de iso-alfa-ácidos por litro, em uma cerveja (DANIELS, 1996).

De acordo com Daniels (1996), o amargor de uma cerveja varia de acordo com seu estilo, podendo possuir de 8 a 12 IBUs, em cervejas suaves como uma *american light lager*, até cervejas muito mais amargas, com 100 IBUs em *imperial stouts*, *imperial ipas* e *barley wines*.

2.4.4 LEVEDURAS

Classificadas como fungos, as leveduras apresentam-se normalmente na forma unicelular, reproduzindo-se através de brotamento (PRIEST e STEWART, 2006).

As leveduras utilizadas na produção de cerveja pertencem a espécie *Saccharomyces cerevisiae*, sendo que, aquelas antigamente classificadas como *S. uvarum* e *S. carlsbenguensis*, foram adequadas dentro desta espécie (AQUARONE et al., 2001).

Leveduras convertem açúcares em álcool e gás carbônico através de um processo conhecido por respiração anaeróbica (PALMER, 2006). Estes micro-organismos também degradam lipídios e proteínas simples, resultando em diversos sabores e aromas presentes nas cervejas (JANSON, 1996). Compostos derivados da fermentação, como ésteres, álcoois, cetonas, fenóis e ácidos graxos, são responsáveis por diversas características no produto final (PALMER, 2006).

Comercialmente as leveduras podem ser encontradas secas ou líquidas. Sendo que cada uma possui suas vantagens e deve ser escolhida de acordo com a estrutura e o perfil da cervejaria (PALMER, 2006).

Para o cervejeiro iniciante, é altamente recomendado a utilização de leveduras desidratadas pois podem ser armazenadas por um longo período, possuem um preparo simples e fornecem uma boa contagem de células iniciais (PALMER, 2006).

Levedura secas são limitadas, pois nem todas as variedades destes fungos suportam o processo de liofilização, principalmente para as do tipo *lager*. Este problema não ocorre nas leveduras líquidas, entretanto, estas têm menor prazo de validade, menor contagem celular por grama e necessitam passar por um processo de pré-inoculação conhecido como *starter* (PALMER, 2006).

São as leveduras as responsáveis pela produção da cerveja. Antes de sua atuação, tudo trata-se apenas de mosto. O tipo de levedura escolhida, assim como qualquer outro ingrediente, irá impactar diretamente nos sabores da bebida pronta (DANIELS, 1996).

Dois termos comumente utilizados quando se trata de leveduras são viabilidade e vitalidade. Porém, estes termos podem causar certa confusão, mas possuem conceito distintos. Viabilidade é a porcentagem de células vivas na população total de células, podendo ser mensurado. Por outro lado, vitalidade é relacionada com a saúde das leveduras, podendo ser medida através de outras características das células de leveduras como a concentração de

glicogênio e o curto período da fase *lag*, dentre outros (DEEDS, 2013).

O glicogênio está relacionado a energia armazenada para produção de esteróis, constituinte vital para a permeabilidade da membrana celular, que está diretamente relacionado com a vitalidade. Devido a sua semelhança com as moléculas de amido, pode-se mensurar os níveis de glicogênio através do teste de iodo (DEEDS, 2013).

Uma fermentação contendo células com boa vitalidade possui uma fase *lag*, ou de adaptação, curta, pois suas membranas estão preparadas para as condições fermentativas. Pode-se também estimar a proporção de células mãe em relação a células filha através da utilização de um microscópio. Uma fermentação com células de baixa vitalidade pode produzir produtos de fermentação indesejados, prejudicando na qualidade da bebida final (DEEDS, 2013).

Indica-se a realização de um *starter* com as leveduras a serem utilizadas, de acordo com a quantidade de mosto a ser fermentado. Isto irá proporcionar uma boa viabilidade e vitalidade, evitando futuros problemas de fermentação (DANIELS, 1996).

De acordo com Daniels (1996), existem cinco parâmetros, relacionados com as leveduras, organizados por ordem de relevância, na elaboração da receita. São eles: tipo, características sensoriais, atenuação, temperatura ótima de trabalho e floculação.

2.4.4.1 Tipos ou Famílias de Leveduras

As duas principais famílias ou tipos de leveduras cervejeiras existentes são as *Lagers*, ou de baixa fermentação, e as *Ales*, ou de alta fermentação. Estas diferenciam-se principalmente pela capacidade de digestão do açúcar rafinose e da temperatura ótima de trabalho (JANSON, 1996).

2.4.4.1.1 Ale

Consideram-se que as primeiras produções de cerveja resultam da atuação de leveduras do tipo *ale* (JANSON, 1996). Utilizadas por mais de cinco milênios, fermentam a temperaturas mais altas, segundo Janson (1996), de 10 a 23,9 °C, ou de 15 a 25 °C, segundo Beltramelli (2012), resultando em sabores e aromas frutados e mais complexos. Por não possuírem a capacidade de degradar o açúcar rafinose (JANSON, 1996), ou melibiose (PRIEST e STEWART, 2006), produzem cervejas mais encorpadas. Leveduras deste tipo, podem tornar-se inativas em temperaturas abaixo de 12 °C (PALMER, 2006).

2.4.4.1.2 Lager

Provenientes de uma antiga região da Alemanha, atualmente pertencente a República Tcheca (BELTRAMELLI, 2012) as leveduras do tipo *lager* produzem cervejas leves, com aromas e sabores “limpos”. Fermentam a baixas temperaturas, de 0 a 12,8 °C ou 9 a 15 °C segundo Beltramelli (2012), degradando completamente a rafinose (JANSON, 1996) ou melibiose (PRIEST e STEWART, 2006).

2.4.4.2 Características Sensoriais

Leveduras do mesmo tipo, mas de diferentes cepas, fornecem diferentes características sensoriais na bebida, podendo alterar a percepção dos sabores como maltados, lupulados, frutados, sulfurosos, amadeirados, minerais, secos, adocicados, neutros e limpos (DANIELS, 1996).

2.4.4.3 Atenuação

A capacidade de uma levedura converter quantidades maiores ou menores de açúcares do mosto em álcool etílico, gás carbônico e outras substâncias é denominada atenuação. Diferentes leveduras produzem bebidas com diferentes gravidades específicas finais, mesmo partindo do mesmo mosto (DANIELS, 1996).

2.4.4.4 Temperatura Ótima de Fermentação

Cada cepa de levedura possui uma faixa de temperatura ótima de trabalho, onde é capaz de produzir as características desejadas para uma bebida fermentada. Para isso é indicado que se conduza a fermentação em um ambiente controlado, de acordo com a temperatura indicada pelo fabricante (DANIELS, 1996).

2.4.4.5 Floculação

A capacidade das leveduras de aglomerarem-se ao fim da fermentação é chamada de floculação. Estes flocos formados tem uma maior capacidade de sedimentação, o que facilita na clarificação da cerveja. Cepas com baixa capacidade de floculação produzem cervejas que necessitam de filtração para tornarem-se cristalinas (DANIELS, 1996).

2.4.5 ADJUNTOS

No Brasil é permitido a substituição de até 45%, em relação ao extrato primitivo, dos maltes por adjuntos cervejeiros sem a necessidade de especificar seu uso no rótulo do produto. Estes são definidos como quaisquer cereais aptos para o consumo humano, bem como os amidos e açúcares de origem vegetal (BRASIL, 2009).

Quando utilizados somente para baratear o processo, sem contribuir com a experiência sensorial, a utilização de adjuntos pode ser considerada sinônimo de má qualidade (BELTRAMELLI, 2012).

Por outro lado, a escola cervejeira Franco-Belga, reconhecida por possuir cervejas entre as melhores do mundo, utiliza destes ingredientes como parte de suas premiadas receitas. O estilo de cerveja *Witbier* é famoso por utilizar trigo não maltado e especiarias, como sementes de coentro e casca de laranja (BELTRAMELLI, 2012).

2.5 PROCESSO PRODUTIVO

De maneira simples, Palmer (2006) divide a produção de cerveja em cinco etapas que resumem bem a essência do processo artesanal. Inicialmente, o malte é adicionado a água quente para a liberação de açúcares; em seguida ferve-se a mistura açucarada juntamente ao lúpulo; posteriormente, resfria-se o mosto e adiciona-se o fermento; após, as leveduras fermentam os açúcares, liberando álcool etílico e gás carbônico; e, finalmente, envasilha-se a cerveja em garrafas juntamente com uma pequena quantidade de açúcar para a carbonatação.

Aparentemente o processo é muito simples, mas envolve uma grande quantidade de informações nessas cinco etapas. Isto torna a produção de cervejas tanto ciência quanto arte, e o domínio da ciência por de trás dos processos permitirá que o cervejeiro atue como artista (PALMER, 2006).

Segundo Aquarone e colaboradores (2001), o processamento da cerveja pode ser didaticamente dividido em três etapas, produção de mosto, processo fermentativo e acabamento.

O presente trabalho está organizado de maneira a proporcionar uma melhor compreensão do processo de produção artesanal, levando em consideração as condições e equipamentos disponíveis para produtores caseiros e micro-cervejarias.

Etapas de pós tratamento incomuns aos cervejeiros artesanais, como standardização de

cor e modificação de aroma e sabor não serão abordadas. Estas teriam função de aumentar o tempo de prateleira ou corrigir algumas características padrão nas bebidas.

As etapas aqui abordadas serão fundamentadas em cima da divisão proposta por Aquarone e colaboradores (2001).

2.5.1 PRODUÇÃO DE MOSTO

A primeira etapa consiste na produção do mosto, onde os grãos moídos são adicionados em água quente, seguindo uma sequência descrita a seguir, para uma melhor extração dos açúcares até que o extrato esteja pronto para a fermentação. Esta etapa também é conhecida como brassagem (VIEIRA, 2009).

2.5.1.1 Moagem

É importante que os grãos utilizados na produção de cerveja passem por um adequado processo de moagem, de maneira a expor o conteúdo amiláceo, causando o mínimo de danos na casca dos cereais (PALMER, 2006).

A moagem deve ser delicada, deve quebrar, e não dilacerar os grãos. Caso contrário pode trazer problemas no processo, como entupimento do leito filtrante (AQUARONE et al., 2001) e produção de sabores desagradáveis, como por exemplo sabor de papelão ou de casca de malte cru, indesejáveis na cerveja acabada (JANSON, 1996).

Grãos inteiros também são indesejados durante a moagem, pois estes prejudicam o rendimento da conversão dos amidos em açúcares fermentescíveis, diminuindo o rendimento final da produção (PALMER, 2006).

Cervejarias de grande porte recebem o malte a granel, sendo necessário um tratamento para a remoção de pedras, sementes e pó. No caso de produção artesanal, como as cervejarias são de pequeno porte, o malte já vem processado e armazenado em sacas (AQUARONE et al., 2001).

O equipamento mais usado para moagem de grãos em uma cervejaria é o moinho de rolos, este proporciona uma melhor distribuição da moagem nas partículas de cereais, permitindo um ponto de maceração onde as cascas permanecem em condições de formar o leito filtrante (BAMFORTH, 2003).

A obtenção de um ponto ótimo de moagem, com pouca produção de farinha e maior integridade das cascas, proporciona uma torta de bagaço mais solta, permitindo uma filtração mais rápida e eficiente (SILVA, 2005).

2.5.1.2 Mosturação

A finalidade da mosturação é obter a maior quantidade possível de extrato a partir dos maltes e adjuntos. Apenas uma pequena quantidade de substâncias do extrato, cerca de 10 a 15%, é naturalmente solúvel no mosto, sendo que, o restante é fruto da degradação de macromoléculas por enzimas contidas no malte (AQUARONE et al., 2001).

A mosturação trata-se basicamente de um estágio enzimático. O malte moído é adicionado a água previamente aquecida a temperaturas que permitem a ativação destas enzimas (BAMFORTH, 2003).

Existem diversos grupos enzimáticos importantes na degradação das macromoléculas, cada um possui uma função diferente, sendo que cada uma delas é favorecida em diferentes faixas de temperatura e pH (PALMER, 2006).

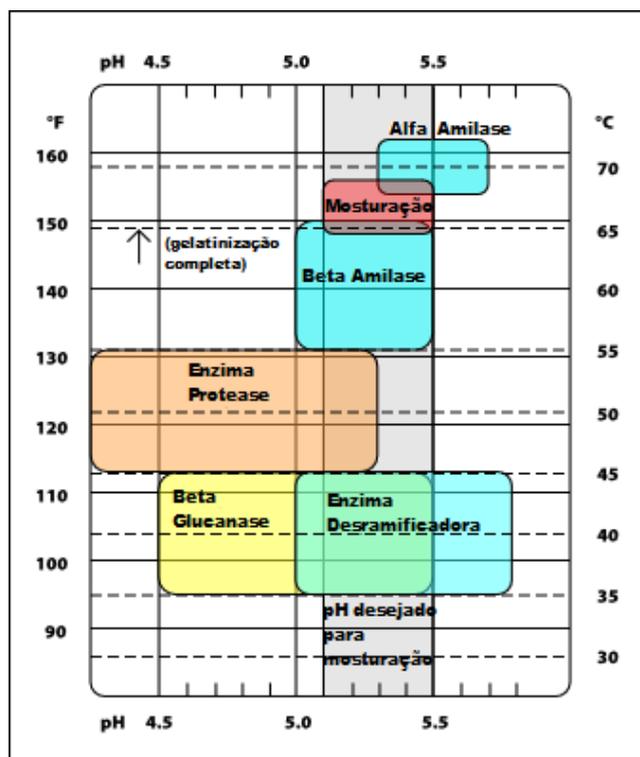
Antes de iniciar a mosturação deve-se voltar a atenção para o pH da água e o pH da solução que será formada ao misturar-se os grãos moídos. Segundo Deeds (2013), os principais fatores responsáveis pelo pH inicial são os solutos presentes na água e os próprios grãos.

Na realidade a quantidade de sólidos provenientes dos maltes é bem superior a quantidade de íons presentes na água, portanto o pH da mosturação é praticamente relacionado apenas a quantidade e qualidade dos ingredientes utilizados, que acabam atuando como tampão para a solução (DEEDS, 2013).

Observa-se na **Figura 4** as faixas de pH e temperatura onde cada enzima é ativada. Nota-se que a faixa destacada de pH de 5,1 a 5,5 permite a ação de todas as enzimas, portanto é indicado que se trabalhe nesta região durante a mosturação.

Considerando a temperatura de trabalho, a partir de informações contidas na **Figura 4**, os cervejeiros podem escolher a quais faixas vão submeter os maltes durante a mosturação, e por quanto tempo permanecerão sob estas condições. Este processo é chamado de rampa de brassagem, sendo que diversas rampas podem ser utilizadas para atingir os resultados desejados.

Figura 4 - Faixas de temperatura e ph de atuação de enzimas presentes na mosturação.



Fonte: Adaptado de Palmer (2006).

A **Tabela 3** demonstra, resumidamente, a função de cada enzima, juntamente com a faixa de pH e temperatura de trabalho.

Tabela 3 - Principais grupos enzimáticos e suas funções.

Enzima	Temperatura ótima de trabalho (°C)	pH ótimo de trabalho	Função
Fitase	30,0 a 52,2	5,0 a 5,5	Diminuição do pH do mosto.
Desramificadora	35,0 a 45,0	5,0 a 5,8	Solubilização dos amidos.
Beta Glucanase	35,0 a 45,0	4,5 a 5,5	Quebra de glucanos.
Peptidase	45,0 a 55,0	4,6 a 5,3	Produção de amino nitrogênio livre (FAN).
Protease	45,0 a 55,0	4,6 a 5,3	Quebra de proteínas grandes, prevenindo turbidez.
Beta Amilase	55,0 a 65,5	5,0 a 5,5	Produção de maltose.
Alfa Amilase	67,7 a 72,2	5,3 a 5,7	Produção de uma variedade de açúcares, inclusive maltose.

Fonte: Palmer (2006).

Antes da virada do século, a interação química da água e dos maltes não era bem compreendida, e os cervejeiros utilizavam uma rampa na faixa de 30 a 52,2 °C visando auxiliar a enzima fitase a acidificar o mosto. Nos dias atuais, o descanso ácido não é muito utilizado, pois pode demorar para atingir a faixa de pH desejada (PALMER, 2006).

Outra opção, chamada de descanso proteico, pode ser utilizada. Neste caso, são utilizadas duas enzimas que trabalham na mesma faixa de temperatura e pH. A peptidase, que fornece ao mosto aminoácidos utilizados pelas leveduras, e a protease, que degrada grandes cadeias de proteínas que aumentam a retenção de espuma e diminuem a turbidez (PALMER, 2006).

As duas principais enzimas para produção de cerveja são as α -amilase e β -amilase. A primeira delas é responsável por quebrar ligações em pontos aleatórios no meio da cadeia amilácea, fornecendo principalmente açúcares de cadeia grande e não fermentescíveis. Já a β -amilase é seletiva, quebrando apenas ligações das pontas das cadeias amiláceas, resultando sempre em dímeros de açúcares, que podem ser consumidos pelas leveduras durante a fermentação (BARTH, 2013).

A escolha da temperatura de mosturação contribui com o “encorpamento” da cerveja mais do que qualquer outro fator. A cada 0,55 °C acima da temperatura de 66,10 °C, resulta em um mosto 1,5% menos fermentescível, proporcionando uma cerveja mais encorpada (DEEDS, 2013). Desta forma, pode-se afirmar que a mostura em temperatura inferiores, proporciona um mosto mais fermentescível e, respectivamente, uma cerveja menos encorpada.

Ao fim da mosturação, todo o amido contido nos grãos deve ser convertido em moléculas menores, de açúcares. Quando negativo, o teste de iodo indica a ausência de moléculas de amido em solução. A presença de amido no mosto é indicada por uma coloração azul intensa, resultado da complexação com o iodo (PALMER, 2006).

A quantidade de água durante a mosturação é um fator importante para permitir a total conversão do amido. Deve-se utilizar volume suficiente para permitir que o equilíbrio seja deslocado totalmente para os produtos, sendo que diferentes quantidades de água podem alterar a composição final do mosto. Uma proporção comum para a fabricação artesanal consiste em uma relação de 2,5 a 3 L de água por 1 kg de grãos (PALMER, 2006).

Após a sacarificação, o mosto é aquecido até 75 - 77 °C (AQUARONE et al., 2001) para a inativação das enzimas, de maneira a garantir que não haja alterações por ação enzimática ao ser submetido a outras temperaturas. Nesta faixa a diminuição da viscosidade auxilia na

filtração (JANSON, 1996). O processo de mosturação geralmente dura 60 minutos (BARTH, 2013). Por fim, transfere-se o mosto para a panela de filtragem.

Uma forma de medir a eficiência na obtenção do mosto é relacionando sua densidade relativa, ou gravidade específica (GE), com o volume de mosto obtido. Uma maneira prática de fazer isso é através da unidade de gravidade (UG). Esta unidade é uma representação do valor após a vírgula nas medidas de densidade relativa (DANIELS, 1996).

Pode-se obter a UG ao subtrair uma unidade da densidade relativa de um extrato ou mosto e multiplicar o resultado por 1000, como o exposto na **Equação 1**.

$$UG = (GE - 1) \times 1000 \quad (1)$$

Onde: UG = unidades de gravidade e GE = gravidade específica ou densidade relativa.

Desta forma, um mosto com gravidade específica de 1,046 possui 46 UG. Ao multiplicar este valor de UG obtido pelo volume total de mosto, obtém-se um valor referente a todas as substâncias extraídas durante o processo de mosturação e filtração, quando for o caso (DANIELS, 1996).

2.5.1.3 Filtração

Nesta etapa o mosto encontra-se misturado ao resíduo insolúvel dos grãos, composto por cascas de malte, fragmentos da camada de aleurona, plúmula, restos da parede celular e proteína coagulada (AQUARONE et al., 2001).

Uma técnica de filtração muito utilizada é conhecida como processo *lauter* ou *lautering*, e consiste na recirculação do mosto através da cama de bagaço, também chamada de torta ou filtro (AQUARONE et al., 2001), sobre fundo falso, até que este esteja livre de partículas em suspensão (BARTH, 2013).

O mosto retirado desta etapa chama-se extrato ou mosto primário, e possui a maior parte dos açúcares extraídos durante a mosturação. Entretanto, para uma maior eficiência é necessário a realização de lavagens, visando extrair o máximo de açúcares retidos no interior dos grãos (VENTURINI FILHO, 2010).

A lavagem do bagaço, também conhecida como *sparging*, deve ser realizada passando-se água a uma temperatura entre 71,1 e 75,6 °C e pH próximo de 5,7. Caso contrário esta simples operação pode acabar extraíndo substâncias indesejadas, como taninos, silicatos, proteínas de

cadeias grandes e gorduras, que podem prejudicar no sabor da cerveja (JANSON, 1996).

Um dos métodos mais fáceis de *lautering* consiste na técnica chamada de *Brew in a bag*, ou BIAB, do inglês brassar em um saco, onde realiza-se a mosturação com os grãos dentro de um saco, o que permite uma fácil separação sólido-líquido. Entretanto este método resulta em um menor rendimento, já que não permite lavagens (DEEDS, 2013).

Segundo John Palmer (2006) o método de lavagem contínua proporciona maiores rendimentos. Este consiste em adicionar água de lavagem sobre a cama de grãos lentamente após o mosto primário ser drenado, até restar cerca de 1 polegada acima da cama de grãos. A água adicionada deve permitir que essa proporção permaneça até o fim do processo, permitindo que o mosto seja extraído gradualmente.

Utilizando-se das lavagens, é possível obter um aumento na eficiência de 6% para mosto com gravidade específica de 1,020, 7% para mosto de 1,030 e de 9% para mosto de 1,060, já que a água das lavagens é responsável em recuperar parte do extrato retido na torta de grãos (DEEDS, 2013).

A lavagem do bagaço do malte é o principal fator para uma boa eficiência de extração dos açúcares durante a produção do mosto, já que a conversão do conteúdo amiláceo em açúcares é de aproxima 100% para uma hora ou mais de mosturação (DEEDS, 2013).

Durante esta etapa, pode-se adicionar a primeira carga de lúpulo, técnica conhecida como *first worth hopping* (FWH), onde adiciona-se pelo menos 30% da quantidade de lúpulo utilizado na fervura. Deve-se adicionar apenas lúpulo de aroma através da FWH (PALMER, 2006).

2.5.1.4 Fervura

Concluída a etapa de filtração, transfere-se o mosto limpo para a panela de fervura. Neste processo o mosto é responsável por produzir sabores e aromas específicos, sabores e aromas indesejados ao estilo, também conhecidos como *off-flavours*, e definir algumas características da cerveja que nenhum outro processo pode proporcionar (JANSON, 1996), entre elas pode-se citar a estabilidade biológica, bioquímica e coloidal (AQUARONE et al., 2001).

O calor intenso durante a fervura é responsável por inativar as enzimas que resistiram após os processos de mosturação e filtração, além de esterilizar o mosto e auxiliar na coagulação

de proteínas, que ao decantarem podem ser removidas para evitar turbidez (BAMFORTH, 2003).

Diversas cervejarias realizam a fervura durante uma a duas horas, sendo que o tempo mínimo indicado é de 30 minutos, suficiente para obtenção de um mosto estéril, para a coagulação das proteínas e evaporação de substâncias indesejadas (JANSON, 1996). Estima-se uma taxa de evaporação de 5 a 10 % do volume total do mosto por hora (AQUARONE et al., 2001).

Nesta etapa é comum que ocorra o escurecimento do mosto devido ao processo de caramelização dos açúcares, onde algumas moléculas de glicose, frutose e maltose transformam-se em estruturas mais simples de carbono, de coloração mais escura (JANSON, 1996).

Os lúpulos podem ser adicionados em três etapas durante a ebulição, sendo no início para amargor, no meio para sabor e ao fim para aroma (AQUARONE et al., 2001).

Durante a primeira adição, voltada para conferir amargor, ferve-se os lúpulos durante 45 a 90 minutos, permitindo uma maior isomerização dos compostos de amargor. Durante este tempo as substâncias aromáticas tendem a evaporar, deixando pouca ou nenhuma contribuição para o aroma. Devido a isso utiliza-se principalmente lúpulo com alta concentração de alfa-ácidos (PALMER, 2006).

Ao meio da fervura existe um equilíbrio entre a isomerização dos alfa-ácidos e a evaporação dos compostos aromáticos, resultando em sabores característicos do lúpulo. Estes devem ser fervidos durante 20 a 40 minutos e qualquer variedade pode ser utilizada (PALMER, 2006).

Lúpulo adicionado durante os minutos finais de fervura perdem menos compostos voláteis pela evaporação, resultando em um mosto mais aromático. Estes são adicionados nos 15 minutos finais ou após o desligamento da fonte aquecedora, permitindo que fique em contato com o mosto durante o resfriamento (PALMER, 2006).

Terminada a fervura, todo o resíduo sólido formado de proteína coagulada e resíduos de lúpulo, chamado de *trub* (AQUARONE et al., 2001), pode ser separado ao submeter o mosto a uma agitação circular, ou *whirpool*, promovendo um acúmulo das partículas sólidas no centro da panela ou tanque de fervura (BARTH, 2013).

2.5.1.5 Resfriamento

Após o *whirlpool* a temperatura do mosto cai para cerca de 85 °C ou menos, entretanto ainda é muito quente para a sobrevivência das leveduras (BAMFORTH, 2003). O mosto deve ser rapidamente resfriado do ponto de fervura para temperatura de inoculação, de 7 a 22 °C (BARTH, 2013).

Diversos tipos de trocadores de calor podem ser aplicados para esta finalidade, sendo que o de placas é o mais utilizado por cervejarias devido a sua alta eficiência de troca térmica (AQUARONE et al., 2001).

Cervejeiros artesanais geralmente utilizam trocadores de calor em forma de serpentina, também chamados de *chillers*, podendo ser de imersão ou contra fluxo. *Chillers* de imersão são mais simples e funcionam com água fria passando no interior da serpentina, imerso no mosto durante os últimos minutos da fervura, para evitar contaminação (PALMER, 2006).

Resfriadores de contra fluxo funcionam de maneira oposta, neste caso é o mosto quente que corre pelo interior da serpentina e a água gelada passa pelo lado externo. Portanto, a sanitização do interior da serpentina é necessária (PALMER, 2006).

A diminuição da temperatura do mosto deve ser rápida para evitar contaminações por micro-organismos indesejados. Esta etapa deve ser considerada como um ponto crítico na produção e todo equipamento que entrar em contato com o mosto frio deve ser devidamente sanitizado (BARTH, 2013).

O estágio final na produção do mosto consiste na incorporação de oxigênio (BAMFORTH, 2003). O processo de fervura elimina oxigênio do meio, sendo necessário a incorporação deste posteriormente para o crescimento das leveduras (BARTH, 2013).

Para uma aeração efetiva, pode-se bombear ar filtrado ou oxigênio puro para o interior da solução através de um difusor, visando aumentar a superfície de contato (BARTH, 2013). Outra forma prática, e muito utilizada por cervejeiros artesanais, é transferir o mosto frio para o fermentador sanitizado, permitindo que o mesmo caia de uma altura suficiente para promover agitação (PALMER, 2006) que auxilia na troca gasosa e dissolução do gás no seio do fluido.

2.5.2 PROCESSO FERMENTATIVO

Com o mosto pronto e transferido para o recipiente fermentador devidamente sanitizado, deve-se adicionar os micro-organismos responsáveis pela transformação do mosto em cerveja

através de fermentação anaeróbica (JANSON, 1996).

Pode-se dividir o processo fermentativo em duas etapas, a fermentação primária, onde as leveduras irão converter quase todo o extrato fermentável em álcool etílico e gás carbônico, e a maturação ou fermentação secundária, onde haverá um melhoramento considerável nas propriedades da bebida (AQUARONE et al., 2001).

2.5.2.1 Fermentação Primária

Antes da adição do fermento ao mosto, este deve ser submetido a um pré-tratamento que envolve a reidratação, no caso de fermento liofilizado, e o preparo de um inóculo, também conhecido como *starter* (PALMER, 2006).

Células de leveduras devidamente hidratadas possuem a capacidade de a membrana celular regular a quantidade de açúcares que ela absorve, caso contrário, as células de levedura absorvem mais açúcares do que podem processar, levando-as a morte (DEEDS, 2013).

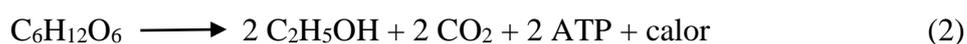
A propagação das leveduras através de um *starter* é necessária para fornecer ao mosto uma quantidade de micro-organismos que possa garantir uma fermentação saudável. Esta etapa consiste em uma fermentação controlada para reprodução das leveduras. Indica-se a inoculação de um a cem bilhões de células por litro para obter resultados satisfatórios (DEEDS, 2013).

O metabolismo da levedura cervejeira, assim como o de todo ser vivo, pode ser dividido didaticamente em anabolismo e catabolismo. O primeiro deles engloba as reações de síntese de matéria celular as custas de energia armazenada nas células de ATP (AQUARONE et al., 2001). Já no catabolismo, o processo inverso é realizado, moléculas são quebradas e oxidadas, acumulando energia química através de moléculas de ATP (AQUARONE et al., 2001).

Leveduras cervejeiras podem catabolizar açúcares por dois caminhos. Se houver a presença de oxigênio, os micro-organismos irão metabolizar os açúcares através de respiração (BAMFORTH, 2003), como pode ser observado na **Reação 1**.



Na presença de oxigênio, as moléculas de açúcar são totalmente oxidadas pelas leveduras. Caso contrário, os açúcares serão catabolizados por via fermentativa (AQUARONE et al., 2001), como pode ser observado na **Reação 2**.



As duas vias metabólicas são importantes na produção de cerveja. A via respiratória produz energia de maneira mais eficiente e é necessária para o crescimento e revigoramento dos fungos, e por isso o mosto deve ser devidamente oxigenado ao fim da fervura (AQUARONE et al., 2001). A cada duas unidades de ATP 0,11 gramas de leveduras são produzidos (DEEDS, 2013).

A fermentação deve ser ambientada respeitando a faixa de temperatura adequada para cada tipo de levedura, geralmente indicadas pelas especificações dos fabricantes. Para melhores resultados deve-se utilizar um controlador de temperatura conectado ao ambiente onde será conduzida a fermentação (PALMER, 2006).

O tempo de fermentação pode variar por diversos fatores como gravidade específica inicial do mosto, tipo de levedura, temperatura de fermentação, entre outros. Por isso uma maneira confiável de saber quando a fermentação chegou ao fim é através da leitura da gravidade específica da cerveja (DEEDS, 2013).

Durante a fermentação, os açúcares são consumidos, liberando basicamente álcool e gás carbônico, abaixando a gravidade específica ao decorrer do tempo (PALMER, 2006). A partir do momento que não se percebe alteração em duas medidas consecutivas com intervalo de aproximadamente 24 h, considera-se que a fermentação primária chegou ao fim (DEEDS, 2013).

A diferença entre a gravidade específica original (OG), antes da fermentação, e a final (FG), depois da fermentação da cerveja é chamada de atenuação. A maior parte da atenuação ocorre na fermentação primária, que pode durar de 2 a 6 dias para leveduras do tipo *ale* e de 4 a 10 dias para *lagers* (PALMER, 2006).

Através da atenuação, pode-se estimar o teor alcoólico produzido na bebida, por meio de dados previamente indicado em manuais, como o apresentado na **Tabela 4**. As medidas devem ser tomadas a 20 °C (PALMER, 2006).

Tabela 4 - Porcentagem de álcool por volume (abv) por diferença de gravidade específica.

FG \ OG	1,030	1,035	1,040	1,045	1,050	1,055	1,060	1,065	1,070	1,075
0,998	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,7	9,4	10,1
1,000	3,9	4,5	5,2	5,8	6,5	7,1	7,8	8,5	9,1	9,8
1,002	3,6	4,2	4,9	5,6	6,2	6,9	7,5	8,2	8,9	9,5
1,004	3,3	4,0	4,6	5,3	5,9	6,6	7,3	7,9	8,6	9,3
1,006	3,1	3,7	4,4	5,0	5,7	6,3	7,0	7,7	8,3	9,0
1,008	2,8	3,5	4,1	4,8	5,4	6,1	6,7	7,4	8,0	8,7
1,010	2,6	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8	6,5	7,1	7,8	8,4
1,012	2,3	2,9	3,6	4,2	4,9	5,5	6,2	6,8	7,5	8,2
1,014	2,0	2,7	3,3	4,0	4,6	5,3	5,9	6,6	7,2	7,9
1,016	1,8	2,4	3,1	3,7	4,4	5,0	5,7	6,3	7,0	7,6
1,018	1,5	2,2	2,8	3,4	4,1	4,7	5,4	6,0	6,7	7,3
1,020	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8	6,4	7,1
1,022	1,0	1,6	2,3	2,9	3,6	4,2	4,9	5,5	6,2	6,8
1,024	0,8	1,4	2,0	2,7	3,3	4,0	4,6	5,2	5,9	6,5

Fonte: Palmer (2006)

2.5.2.2 Maturação

Após a fermentação primária, o extrato fermentável residual da cerveja continua fermentando lentamente, o que é chamado de fermentação secundária. Mas a maturação não consiste apenas no término do processo fermentativo (AQUARONE et al., 2001).

A maturação tem como objetivos iniciar o processo de clarificação da cerveja através da decantação das partículas em suspensão; melhorar o sabor e odor da bebida através da redução das concentrações de diacetil, acetaldeído e ácido sulfídrico; e manter a cerveja em estado reduzido (AQUARONE et al., 2001).

Células mortas de leveduras podem romper-se, liberando uma série de *off-flavours* na cerveja. O fenômeno de autólise ocorre principalmente com fermentos do tipo *lager*. Produzir cerveja com leveduras saudáveis e um mosto bem preparado pode evitar que problemas como este aconteçam (PALMER, 2006).

Portanto, logo após o término da fermentação primária é interessante que se faça a transferência da cerveja para um recipiente maturador devidamente sanitizado, permitindo que

a fermentação secundária aconteça sem a camada de células mortas no fundo do recipiente. Esta transferência deve ser realizada cuidadosamente, evitando a dissolução de ar na cerveja (BARTH, 2013).

Outra etapa importante em uma maturação é a remoção do diacetil, molécula que proporciona um sabor amanteigado nas cervejas. Para sua remoção, emprega-se o descanso de diacetil, elevando a temperatura para cerca de 15 °C em cervejas *lagers* por um período de 24 a 48 horas (PALMER, 2006).

Paras cervejas do tipo *ale*, não há necessidade de mudança na temperatura para o descanso de diacetil, já que elas geralmente fermentam em temperaturas superiores a 15 °C, mas ainda há necessidade de manter a temperatura nesta faixa após a fermentação por pelo menos dois dias (WHITE, 2015).

Durante a maturação pode-se adicionar outros ingredientes como frutas, lúpulos, ervas, entre outros ingredientes, para conferir diversas características que não poderiam ser atribuídas em outros processos. A adição de lúpulo neste momento chama-se *dry hop* e possibilita a adição de aromas delicados que são perdidos em outras etapas (PALMER, 2006).

2.5.3 ACABAMENTO

Após a maturação a cerveja, está praticamente pronta para consumo, necessitando apenas de carbonatação e acondicionamento, podendo passar por clarificação e pasteurização, em alguns casos (AQUARONE et al., 2001).

No caso de produtores artesanais geralmente a carbonatação ocorre por um processo de refermentação no interior das garrafas ou do barril, através da realização de *priming*, que é a adição de uma quantidade controlada de açúcares, de 4 a 10 gramas por litro, na cerveja acabada antes do envase (SILVA, 201-).

Após a realização do *priming*, envasa-se a cerveja em garrafa ou barril, previamente sanitizado, onde deve permanecer a temperatura ambiente por cerca de duas semanas, longe de luz. Após a carbonatação estar completa a cerveja está pronta para consumo, entretanto indica-se dois meses de repouso na garrafa para uma melhoria nos sabores (PALMER, 2006).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a metodologia de mosturação, a partir da unidade de gravidade total obtida, em cervejaria de bancada.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a metodologia de mosturação utilizando uma cervejaria de bancada disponível para experimentos do curso de Química Industrial da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS);
- Variar o volume de água utilizado na etapa de mosturação (40, 60 e 80 % do volume total) visando avaliar a eficiência de extração por meio da quantificação da unidade de gravidade total;
- Avaliar a viabilidade técnica de trabalho com os volumes de água propostos (40, 60 e 80% do volume total) para a etapa de mosturação;
- Avaliar a viabilidade técnica de trabalho com os volumes de água restantes (60, 40 e 20% do volume total) para a etapa de lavagem;
- Calcular a eficiência de extração média das metodologias de mosturação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

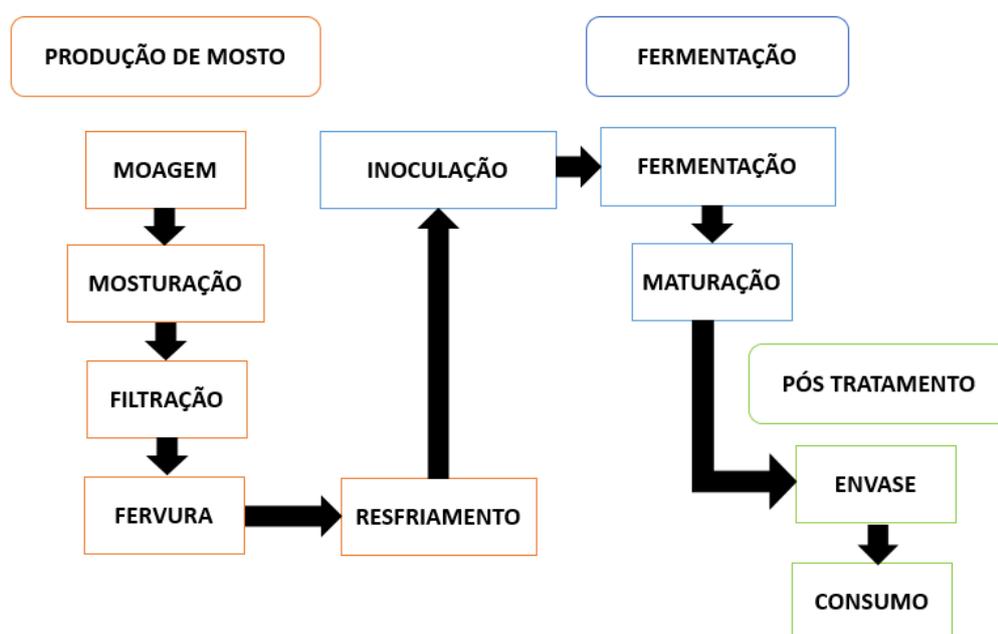
Realizou-se a produção de lotes de cerveja artesanal em cervejaria de bancada disponível no laboratório de Química Instrumental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, utilizando-se de diferentes volumes de água durante as etapas de mosturação e filtração, mantendo-se o volume total constante.

Para tal finalidade utilizou-se a metodologia de elaboração de receita apresentada do **Apêndice 1** que foi aplicada as condições disponíveis para elaborar a receita utilizada neste trabalho, que se encontra descrita no **Apêndice 2**.

Para este trabalho, na etapa de mosturação os volumes utilizados foram de 40, 60 e 80% do volume total de água a ser utilizado na produção, previamente calculado no **Apêndice 2** (5 L). O volume restante, ou seja 60, 40 e 20% do volume total, foi utilizado durante a etapa de lavagem.

A **Figura 5** ilustra as etapas envolvidas na produção de cerveja e que foram utilizadas neste trabalho. Após as etapas de recirculação e lavagem, mediu-se a gravidade específica e o volume do mosto primário e secundário, respectivamente, visando avaliar a extração dos sólidos que será medida pela unidade de gravidade (UG).

Figura 5 – Fluxograma das etapas de produção de cerveja



Fonte: O Autor.

Todos os lotes foram submetidos a metodologia apresentada a seguir, até a obtenção do produto acabado, engarrafado e pronto para o consumo.

4.1 INSUMOS

4.1.1 ÁGUA

A água utilizada nos testes foi coletada da rede de abastecimento do Laboratório de Química Instrumental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. A presença de cloro não foi relevante pois durante a fervura do mosto este é volatilizado pelas altas temperaturas (PALMER, 2006).

Esta poderia ser substituída por água mineral ou água de abastecimento público filtrada, no caso da necessidade de testes sensoriais com a cerveja final, já que a composição iônica da água é um dos fatores para qualidade sensorial da cerveja, como demonstrado na **Tabela 1**.

4.1.2 MALTES

Para a produção do mosto cervejeiro foram utilizados maltes pilsen e pale ale, em uma proporção de 50% cada, visando a produção de um mosto de gravidade específica de 1,046. A quantidade de malte foi calculada através da metodologia adaptada do livro *Designing great beers*, DANIELS (1996), presente no **Apêndice 1**.

Estes maltes foram previamente homogeneizados no interior de um saco de ráfia (**Figura 6**) e separados em porções individuais de 450 gramas de pilsen e 450 gramas de pale ale para cada batelada, pesados em balança alimentícia, como demonstrado na **Figura 7**.

Figura 6 – Homogeneização do malte em saco de ráfia.



Fonte: O Autor.

Figura 7 – Pesagem das porções de malte a serem utilizadas em cada batelada.



Fonte: O autor.

4.1.3 LÚPULO

Foram utilizadas duas variedades de lúpulo, 2 g de *Hallertau Magnum* com teor de 13% alfa-ácidos e 2 g de *Hallertau Tradition* com teor de 4,6% alfa-ácidos, adicionados ao início e restando 10 minutos para o final da fervura, respectivamente.

4.1.4 LEVEDURA

Para fermentação do mosto utilizou-se 11,5 g de fermento comercial Fermentis S-04, replicado através de agitador magnético e 400 mL de mosto durante 24 horas. Para cada fermentador, adicionou-se 30 mL da solução.

4.2 EQUIPAMENTO

Para produção dos lotes utilizou-se de um equipamento de produção de cerveja em escala de bancada, com capacidade máxima para 5 litros e alguns outros acessórios relatados a seguir: panela espagueteira de 7 litros com válvula 3/8” (**Figura 8**); fogareiro de alta pressão (**Figura 9**); moedor de cereais (**Figura 10**); trocador de calor tipo *chiller* de imersão (**Figura 11**); termômetro alimentício, balança alimentícia, borrifador e arrolhador de tampinhas (**Figura 12**); e balde fermentador com válvula *airlock* (**Figura 13**).

Figura 8 – Panela espagueteira de 2 peças, com válvula 3/8”.



Fonte: O autor.

Figura 9 – Fogareiro de alta pressão.



Fonte: O autor.

Figura 10 – Moedor de cereais.



Fonte: O autor.

Figura 11 – Trocador de calor tipo *chiller* de imersão.



Fonte: O autor.

Figura 12 – Borrifador, arrolhador de tampinhas, balança e termômetro alimentícios.



Fonte: O autor.

Figura 13 – Balde fermentador com válvula *airlock*.



Fonte: O autor.

PREPARO DO MOSTO

4.3.1 MOAGEM

Cada porção de malte foi moída individualmente no início de cada brassagem por meio de um moedor de disco. Procurou-se obter amostras homogêneas, regulando a abertura do moinho sempre que necessário.

4.3.2 MOSTURAÇÃO

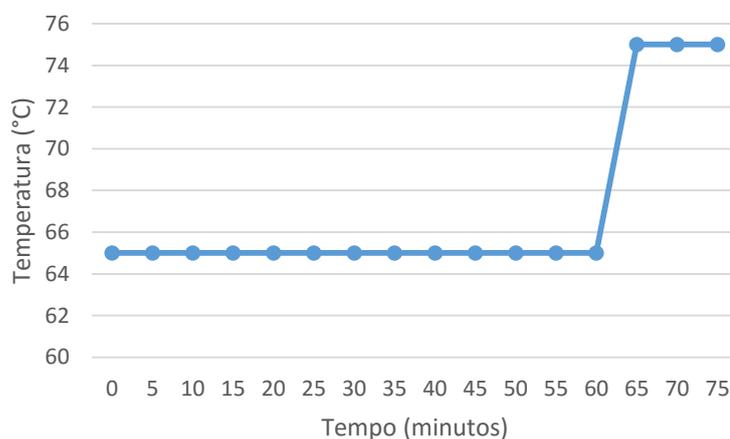
Aqueceu-se a água a ser utilizada em cada mosturação a 70 °C. Os volumes usados foram de 2, 3, e 4 litros para os lotes com 40, 60 e 80 % do volume total de água.

Adicionou-se o malte moído, aferiu-se a temperatura, retomando o aquecimento no caso desta encontrar-se abaixo de 65 °C. Manteve-se a temperatura durante cerca de 60 minutos, verificando-se a temperatura a cada 10 minutos. Todas as vezes que a temperatura era aferida era realizada agitação por 1 minuto antes do procedimento.

Após 60 minutos, realizou-se o teste de iodo, adicionando uma gota de solução de iodo a 2% em uma amostra do mosto em placa de toque. Quando positivo aqueceu-se por mais 10 minutos, repetindo-se a análise após este período. A partir do momento em que o teste de iodo apresentou resultado negativo, aqueceu-se o mosto a 75 °C, manteve-se a esta temperatura durante 15 minutos.

O roteiro das temperaturas de mosturação pretendidas, também conhecido como rampas, encontra-se ilustrado na **Figura 14**.

Figura 14 – Rampa de mosturação pretendida para a realização dos ensaios.



4.3.3 FILTRAÇÃO

Transferiu-se todo o mosto para o cesto de filtração, com auxílio de uma escumadeira para dividir a cama de grãos por toda superfície. Com o cesto suspenso sobre a panela, coletou-se o mosto através da válvula realizando a recirculação através do leito filtrante com o cuidado de não formar caminhos preferenciais através do bagaço.

Repetiu-se o procedimento até o mosto obter um aspecto límpido, sem presença de partículas sólidas em suspensão. Aguardou-se até que o gotejamento do mosto na cama de grãos fosse imperceptível.

Completada a recirculação, mediu-se o volume total do mosto primário através de uma proveta graduada de 500 mL e sua gravidade específica através de um refratômetro de bolso.

Aqueceu-se o volume de água restante para completar os 5 litros totais, ou seja, 3, 2 e 1 litro, respectivamente, para os lotes com 40, 60 e 80 % de volume total de água na mosturação, a 75 °C. Adicionou-se este volume lentamente sobre a cama de grãos com o auxílio da escumadeira, de maneira a manter constante uma camada com cerca de 2 milímetros de água sobre o leito filtrante.

Após cessar o gotejamento do mosto secundário através da cama de grãos, aferiu-se o volume final obtido por meio de uma proveta graduada de 500 mL e a gravidade específica foi determinada com refratômetro de bolso.

4.3.4 FERVURA

Com todo o mosto transferido para a panela, submeteu-se este a fervura vigorosa durante 60 minutos contados a partir do início da fervura. Neste momento adicionou-se 2 gramas de lúpulo de amargor *Hallertau Magnum*, e após 50 minutos 2 gramas de lúpulo de aroma *Hallertau Tradition*.

Juntamente com o lúpulo de aroma, adicionou-se o *chiller* de imersão a panela. Passados 60 minutos, desligou-se o aquecimento e submeteu-se o mosto a uma agitação circular.

4.3.5 RESFRIAMENTO

Conectou-se a mangueira do *chiller* em uma torneira, permitindo-se que a água circulasse em seu interior até o mosto atingir temperatura inferior a 30 °C. Aferiu-se a

temperatura com termômetro previamente sanitizado.

Sanitizou-se o recipiente fermentador com solução de álcool etílico 70 %, deixando o excesso de solução escorrer após 10 minutos de contato. Transferiu-se o mosto para o fermentador através da válvula da panela, permitindo que aquele caia de uma altura de cerca de 10 centímetros, favorecendo a homogeneização e aumento da concentração de oxigênio dissolvido na solução.

Aferiu-se a densidade relativa, ou gravidade específica original (OG) do mosto.

4.3.6 INOCULAÇÃO

Adicionou-se ao fermentador, 30 mL da solução de fermento previamente preparada, fechando-o logo em seguida. Sanitizou-se a tampa do recipiente, fechando-o de maneira a não haver entrada de ar.

4.3.7 FERMENTAÇÃO E MATURAÇÃO

Manteve-se os fermentadores equipados com válvula *airlock* a temperatura ambiente durante 7 dias. Transferiu-se cuidadosamente a cerveja para o recipiente maturador, devidamente sanitizado, de maneira a evitar a transferência de sedimentos.

Passados 10 dias no recipiente de maturação, aferiu-se a densidade relativa, ou gravidade específica final (FG) da cerveja.

4.3.8 ENVASE

Transferiu-se a cerveja maturada para a panela cervejeira devidamente sanitizada, aferindo o volume total com o auxílio de proveta graduada de 500 mL, devidamente sanitizada.

Preparou-se 100 mL de uma solução de água com 5 gramas de açúcar cristal por litro de cerveja. Submeteu-se esta solução a 10 minutos de fervura e se adicionou a cerveja pronta, homogeneizando por 1 minuto. Transferiu-se a cerveja para as garrafas devidamente lavadas e sanitizadas, tampando-as com o auxílio do arrolhador de tampas metálicas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os ensaios de produção de cerveja artesanal utilizando-se 40, 60 e 80% do volume de água total, durante a mosturação e de 60, 40 e 20% do volume durante a filtração, estarão apresentados a seguir.

Apenas os lotes com 60 e 80% do volume de água total utilizados na mosturação foram realizadas em triplicata. O volume de 40%, ou seja, 2 litros, demonstrou-se inviável para 900 gramas de malte.

Também se realizou lotes com 50% do volume de água, já que os resultados indicaram possíveis ganhos no rendimento da mosturação.

5.1 MOAGEM

A utilização do moinho de discos dificulta a obtenção de um ponto ótimo de moagem, mesmo tomando o devido cuidado com a regulagem do espaçamento dos discos. O produto resultante da moagem dos cereais continha uma proporção relativamente elevada de farinha (**Figura 15**), o que não é mais apropriado para otimizar o processo de extração, porém, com o equipamento disponível, não foi possível controlar ainda mais a granulometria do material obtido.

Figura 15 - Ponto de moagem dos maltes obtido com o moinho de disco.



Fonte: O autor.

Observa-se na **Figura 15** a presença de grãos inteiros e formação de farinha, ambos indesejados em boas condições de moagem. A utilização de um moinho de rolos, específico para moagem de malte, poderia sanar este problema pois, de acordo com Silva (2005), uma moagem em moinho de rolos, em três etapas, com distanciamentos de 1,00, 0,70 e 0,35 mm entre os cilindros, respectivamente, permite a obtenção de melhores condições na maceração dos grãos para obtenção de mosto cervejeiro.

5.2 MOSTURAÇÃO

A adição dos maltes após o aquecimento da água é uma etapa importante para evitar a atuação de enzimas que trabalham a temperaturas mais baixas do que as desejadas, demonstradas na **Figura 4**. Após esta adição, a massa de maltes adicionados é responsável por reduzir a temperatura da solução, podendo ser necessária a manutenção da temperatura.

Todas as etapas de mosturação foram realizadas na panela cervejeira sem a utilização do cesto de grãos, como mostrado na **Figura 16**. Desta forma foi possível uma maior homogeneidade durante o processo. Caso contrário, o espaço existente entre o fundo da panela e o fundo do cesto de grãos impediria a homogeneização da mistura.

Figura 16 – Processo de mosturação na panela cervejeira sem o cesto de grãos.



Fonte: O autor.

Ao adicionar os grãos, a temperatura variou de acordo com a quantidade de água presente em cada batelada, sendo esta variação inversamente proporcional ao volume de líquido utilizado no processo. Esta variação pode ser observada no primeiro minuto nos gráficos das **Figuras 17, 18 e 19**.

Figura 17 – Variação de temperatura ao longo do tempo para a mosturação com 2 litros de água (40% do volume total).

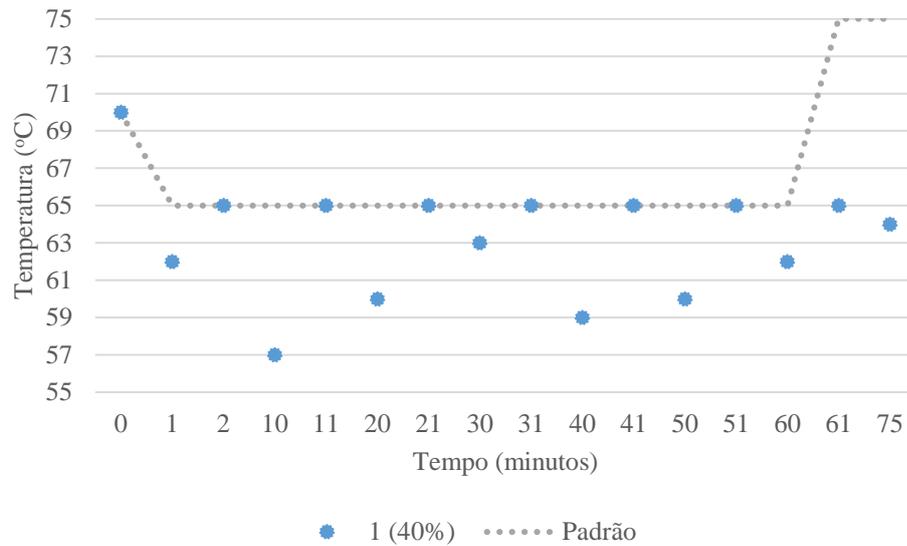


Figura 18 - Variação de temperatura ao longo do tempo para a mosturação com 3 litros de água (60% do volume total).

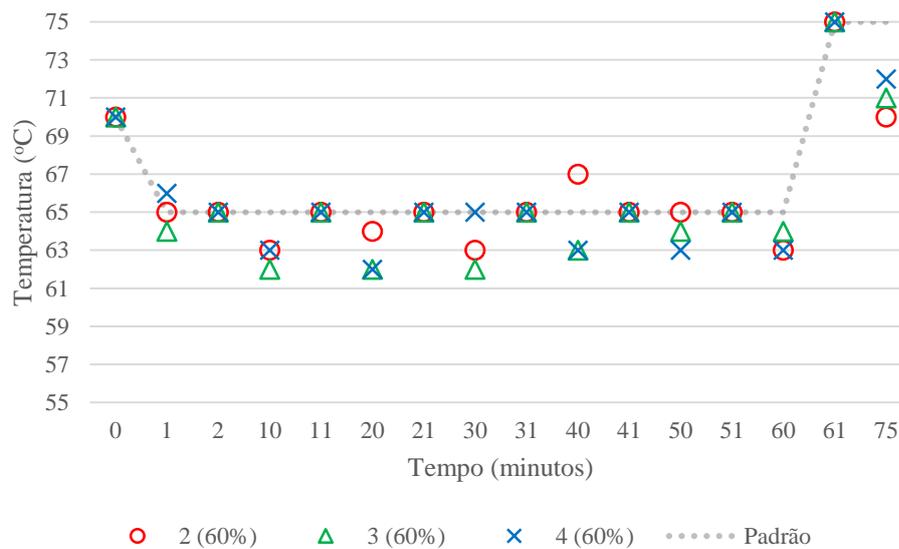
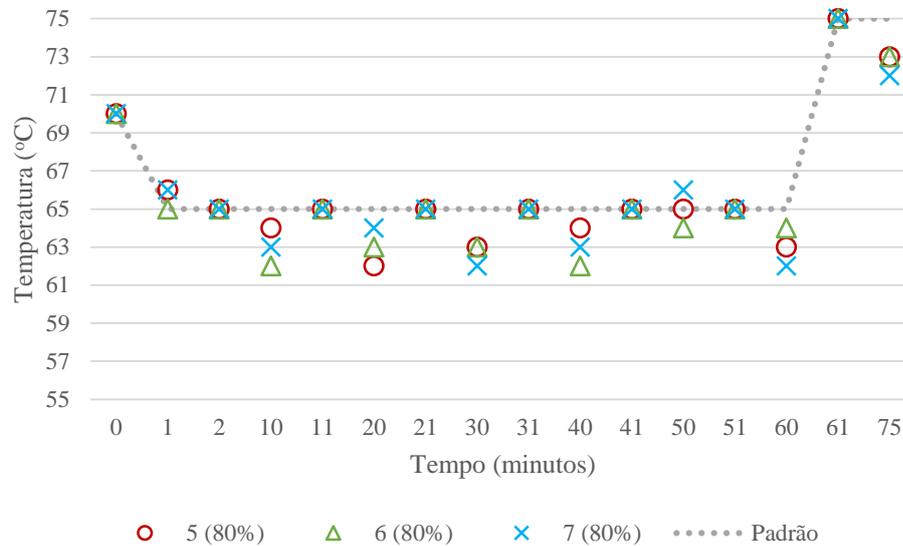


Figura 19 – Variação de temperatura ao longo do tempo para a mosturação com 4 litros de água (80% do volume total).



As **Figuras 18 e 19** representam a variação da média das temperaturas de mosturação das triplicatas realizadas com 60 e 80% do volume total de água, respectivamente. Observa-se que para os volumes de 3 e 4 litros de água na mosturação a variação de temperatura foi menor, facilitando sua manutenção, se comparado com os resultados obtidos para o lote de 40%. Menores variações permitem que haja uma reprodutibilidade com maior precisão.

Todas as bateladas obtiveram pH em torno de 5 durante a mosturação, estimado a partir de papéis e tiras indicadoras de pH, submersas em mosto e postas a comparação com a tabela de cores, como demonstrado na **Figura 20**.

Figura 20 – Resultado de dois testes de pH realizados durante o processo de mosturação.



Fonte: O Autor.

Durante toda a etapa inicial da mosturação procurou-se manter a temperatura em aproximadamente 65 °C, reacendendo a chama do fogareiro sempre que essa se encontrava abaixo do desejado. O fundo triplo da panela proporciona uma boa retenção de calor, sendo necessário apagar a chama próximo quando a temperatura do mosto está em 64 °C, o que ainda gerará uma troca térmica que será suficiente para aquecer a mistura até a temperatura desejada.

O procedimento realizado com 40 % do volume final de água na mosturação não foi realizado em triplicata, pois o baixo volume de líquido utilizado no início do procedimento não permitiu a total conversão do amido em açúcares, o que pode ser detectado pelo teste de iodo positivo mesmo após duas horas de mosturação. A **Figura 21** ilustra o teste de iodo realizado, onde a direita encontra-se a amostra, escurecida com adição de iodo, demonstrando presença de amido. Pode-se observar a alteração na coloração ao comparar com a amostra em branco ao centro. A esquerda estão apresentados grãos com o seu interior escurecido, para enfatizar como o resultado positivo do teste de iodo se apresenta.

Figura 21 – Teste de iodo positivo para mosturação com 40% de água.



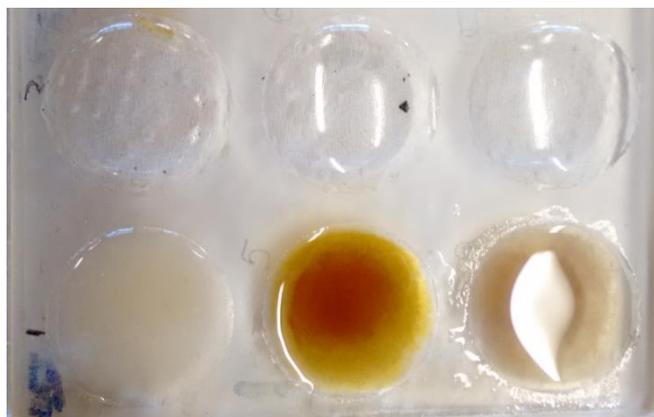
Fonte: O Autor.

Além disso, houve uma grande variação na temperatura durante o procedimento que utilizava 40 % do volume final de água na mosturação, a qual pode ser observada na **Figura 17**, o que impossibilitaria ou dificultaria em muito a reprodução confiável do método. Assim, optou-se por não repetir este ensaio por considera-lo inviável para ser aplicado na prática cervejeira.

Todas as bateladas com 60 e 80% do volume total de água obtiveram resultado negativo no teste de iodo, demonstrado na **Figura 22**, provando possuir volume suficiente de líquido para permitir a completa degradação das macromoléculas de amido em açúcares durante a

mosturação. Na figura observa-se o resultado negativo ao centro, onde a coloração castanha da solução original de iodo prevalece, indicando a completa conversão do amido em açúcares.

Figura 22 – Teste de iodo negativo



Fonte: O autor.

5.3 FILTRAÇÃO

Após o repouso de 15 minutos a 75 °C, transferiu-se gentilmente a mistura para o cesto de grãos sobre a panela cervejeira, permitindo a formação do leito filtrante.

A **Figura 23** demonstra como foi montado o sistema para a filtração, onde utilizou-se uma pinça para cadinho apoiando o cesto de grãos. Ao lado utilizou-se bicos de Bunsen e uma panela sobre tripés para aquecer o volume de água a ser utilizado na lavagem.

Figura 23 – Montagem do equipamento utilizado para a filtração do mosto cervejeiro.



Fonte: O autor.

Com o sistema montado, e após a filtração, coletou-se o mosto primário com o auxílio de um caneco, através da válvula presente no fundo da panela cervejeira, como pode ser observado na **Figura 24**.

Figura 24 – Retirada do mosto primário que será utilizado na recirculação.



Fonte: O autor.

Esta primeira amostra de mosto apresenta aspecto turvo e grande concentração de material particulado em suspensão. Por este motivo a recirculação do mosto através da cama de grãos é necessária visando a retenção do material particulado dentro do equipamento pela cama de grãos que se comporta como um meio filtrante. A recirculação é processada com o auxílio de uma escumadeira para promover a dispersão homogênea do líquido por toda a sua superfície, evitando a formação de caminhos preferenciais, o que prejudicaria a retenção dos sólidos.

Com o equipamento utilizado esta etapa não se demonstrou eficiente. Não foi possível a obtenção de um mosto límpido e ausente de partículas. Isso ocorreu devido ao diâmetro das perfurações do cesto serem maiores do que o indicado, o que levou a passagem de bagaço pelas perfurações.

Esta situação se repetiu em todas as bateladas, onde o mosto primário obtido apresentou aparência levemente turva. A retirada do mosto foi realizada até que o gotejamento da cama de grãos fosse desprezível.

A filtração do lote 1, com 40% do volume de água na mosturação, também se demonstrou inviáveis, pois a alta viscosidade do mosto concentrado devido a sua elevada

gravidade específica, tornou o processo mais demorado e com mais perdas devido a retenção de açúcares nas paredes dos equipamentos.

Mediu-se a temperatura, o volume e a gravidade específica do mosto primário que se encontram destacados na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto primário.

Lote	Vol. de água inicial	Volume do mosto primário (L)	Gravidade específica do mosto primário (GE)	Temp. do mosto (°C)	Temp. Amb. (°C)
1	40% (2 L)	0,746	1,126	42	26
2	60% (3 L)	1,820	1,075	46	28
3	60% (3 L)	1,835	1,077	44	30
4	60% (3 L)	1,940	1,073	46	28
5	80% (4 L)	2,890	1,058	47	28
6	80% (4 L)	2,750	1,064	46	30
7	80% (4 L)	2,780	1,061	47	29

Uma vez obtido todo o mosto primário, adiciona-se o volume de água designado para a lavagem dos grãos, sendo este a quantidade que faltava para se atingir os 5 litros de água totais.

Os volumes utilizados nas lavagens foram de 3, 2, e 1 litro de água para as levas de 40, 60 e 80 % do volume total de água na mosturação, respectivamente, como já mencionado anteriormente. Adicionou-se a água a 75 °C com o cuidado para não causar um arraste da cama de grãos. A adição foi constante, de forma a manter uma camada de água sobre o bagaço, suficiente apenas para cobri-lo, como pode ser observado da **Figura 25**. Grandes volumes de água neste momento permitiriam o escoamento da água pelos furos laterais do cesto de grãos, o que não era a intenção.

A existência dos orifícios na parede do cesto pode ocasionar uma diminuição no rendimento do processo de lavagem, pois caso o procedimento de lavagem não seja realizado vagarosamente e com volume controlado, pode impedir que a água adicionada percole por toda a cama de grãos, ou seja, o leito filtrante.

Da mesma forma que anteriormente, processou-se o escoamento do mosto da lavagem, mosto secundário, até que o gotejamento da torta fosse desprezível. Então, mediu-se a temperatura, a gravidade específica e o volume total obtidos durante as duas etapas (mosto

primário e mosto secundário). Os resultados estão destacados na **Tabela 6**.

Figura 25 – Processo de lavagem da cama de grãos para obtenção do mosto secundário.



Fonte: O autor.

Tabela 6 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto total.

Lote	Vol. de água inicial	Volume do mosto total (L)	Gravidade específica do mosto total (GE)	Temp. do mosto (°C)	Temp. Amb. (°C)
1	40% (2 L)	3,640	1,059	43	26
2	60% (3 L)	3,595	1,055	46	28
3	60% (3 L)	3,680	1,054	44	30
4	60% (3 L)	3,850	1,052	47	28
5	80% (4 L)	3,850	1,050	46	28
6	80% (4 L)	3,735	1,052	45	30
7	80% (4 L)	3,780	1,051	47	29

Os volumes demonstrados na **Tabela 5** e **6** não foram medidos a temperatura ambiente, diferente da gravidade específica, ocasionando um erro nas medidas. Este pode ser calculado ao corrigir os volumes para a temperatura ambiente.

A correção adequada do volume deveria levar em conta a composição do mosto cervejeiro, que é muito complexa. Assim, uma aproximação será realizada considerando a densidade absoluta do mosto igual a da água, seu constituinte presente em maior concentração.

Para indicar um exemplo do procedimento que foi realizado para a correção, utilizou-se o volume de mosto total obtido na sétima batelada, que foi de 3,78 litros de mosto a 47 °C. Sua gravidade específica foi medida a temperatura ambiente de 29 °C através de refratômetro de bolso.

Utilizando-se dos valores de massa específica (densidade absoluta) apresentados na **Tabela 7**, onde a água a 29 °C possui 995,948 kg m⁻³ e a 47 °C, 989,387 kg m⁻³, obtém-se uma diferença de 6,561 kg m⁻³ para estes 18 °C de variação.

Tabela 7 – Massa específica da água em diferentes temperaturas.

T (K)	T (°C)	Massa específica (kg m ⁻³)
298	25	997,042
300	27	996,513
302	29	995,948
304	31	995,346
306	33	994,711
308	35	994,042
310	37	993,342
312	39	992,610
314	41	991,848
316	43	991,056
318	45	990,235
320	47	989,387
322	49	988,512
324	51	987,610
326	53	986,682
328	55	985,728
330	57	984,750
332	59	983,747
334	61	982,721
336	63	981,671
338	65	980,599
340	67	979,503

Fonte: Adaptado de PERRY (2007).

Este valor representa um aumento de 0,663% na massa específica da água ao resfriá-la de 47 para 29 °C, ou seja, uma redução de 25,06 mL de água.

Devido a correção levar a uma pequena diferença de volume, da complexidade da composição do mosto e ainda da possibilidade de outros erros experimentais que podem ter ocorrido e que são decorrentes de trabalhos práticos, considerou-se a perda de volume desprezível e optou-se por desprezar o erro de volume em função da temperatura em todas as amostras.

5.4 CALCULO DE EFICIÊNCIA DE EXTRAÇÃO

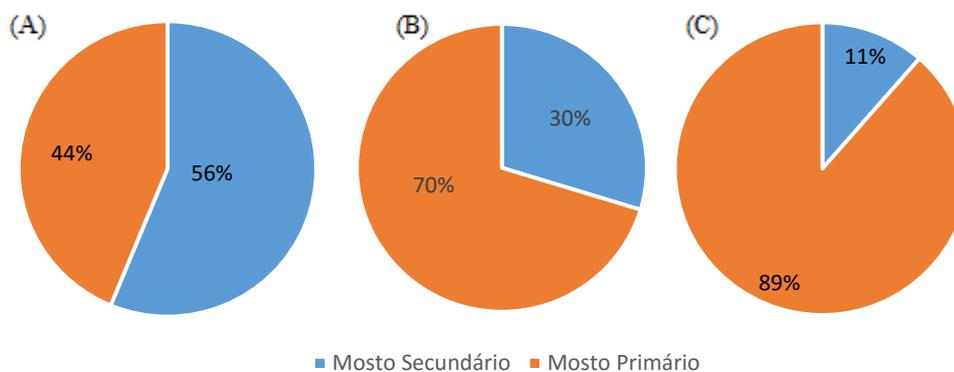
Sabendo-se a gravidade específica e o volume do mosto, pode-se calcular a quantidade total de unidades de gravidade obtidas no processo de mosturação, multiplicando o volume em litros pela UG. Assim, com a UG do mosto primário e total e o volume em litros, calcula-se a UG obtida na etapa de lavagem ou do mosto secundário, por diferença. A descrição completa deste método encontra-se no **Anexo 1**. Os resultados obtidos estão apresentados na **Tabela 8**.

Tabela 8 – Valores de unidades de gravidade (ug) do mosto primário e total.

Lote	UG do mosto primário	UG _T	UG obtida na etapa de lavagem
1	93,99	214,7	120,70
2	136,5	197,7	61,20
3	141,3	198,7	57,40
4	141,6	200,2	58,60
5	167,6	192,5	24,90
6	176,0	194,2	18,20
7	169,6	192,8	23,20

A **Figura 26 (A), (B) e (C)** ilustram a proporção média de UG_T obtida nos mostos das diferentes bateladas, utilizando-se dos dados da **Tabela 8**.

Figura 26 - Proporção média das unidades de gravidade obtidas no mosto primário e no mosto secundário para as bateladas de: (A) 40% do volume de água total; (B) 60% do volume de água total e (C) 80% do volume de água total.



Pela **Figura 26** podemos observar que o volume de água utilizado na etapa de mosturação foi proporcional as unidades de gravidade obtidas. Observa-se que maiores volumes de água na etapa de lavagem levam a maiores obtenções de unidades de gravidade nesta etapa e que as diferentes condições de trabalho levaram a uma diferença máxima de UG_T de 10,34 %, comparando-se os lotes 1 e 5 (**Tabela 8**).

Através dos valores da **Tabela 8**, calculou-se a eficiência do processo ao relacionar estes dados com a eficiência teórica.

Como um quilograma dos maltes pilsen e pale ale possuem uma UG potencial variável entre 308,77 e 292,08, demonstrada no **Apêndice 1**, em uma extração com eficiência teórica de 100%, os 0,9 kg de malte utilizados no experimento poderiam produzir um mosto com UG_T variando entre 262,87 e 277,89.

Considerando a variação dos valores teóricos de extrato potencial de UG_T e a UG real obtida nos experimentos, calculou-se a eficiência máxima, mínima e média para cada lote (**Tabela 9**).

Tabela 9 – Eficiência de mosturação obtida nos experimentos.

Lote	Máxima (%)	Mínima (%)	Média (%)
1	81,69	77,28	79,49
2	75,21	71,15	73,18
3	75,59	71,51	73,55
4	76,16	72,04	74,10
5	73,23	69,27	71,25
6	73,88	69,89	71,89
7	73,33	69,70	71,52

Observa-se que a maior eficiência foi obtida para o lote 1 porém, é inviável se trabalhar nesta condição pelo que já foi exposto anteriormente. Para os resultados obtidos até o momento, considera-se que a melhor condição de trabalho foi a utilizada nos lotes 2, 3 e 4, com 60% da quantidade total da água na etapa de mosturação e 40% na etapa de lavagem. Identifica-se pelos resultados que a menor quantidade de água na etapa de mosturação é a mais indicada, desde que esta seja suficiente para se desenvolver de forma adequada e com possibilidade de reprodução os procedimentos realizados.

Devido aos resultados anteriormente apresentados, optou-se por produzir novos lotes (8 e 9) com 50% da água total sendo utilizada na etapa de mosturação. Os resultados obtidos nestes ensaios estão apresentados nas **Tabelas 10, 11, 12 e 13**, a seguir.

Tabela 10 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto primário.

Lote	Vol. de água inicial	Volume do mosto primário (L)	Gravidade do mosto primário (GE)	Temp. do mosto (°C)	Temp. Amb. (°C)
8	50% (2,5 L)	1,470	1,089	42	29
9	50% (2,5 L)	1,452	1,090	43	29

Tabela 11 – Medidas de temperatura, gravidade específica e volume de mosto total, para os lotes 8 e 9, com 50% do volume de água total na mosturação.

Lote	Vol. de água inicial	Volume do mosto total (L)	Gravidade específica do mosto total (GE)	Temp. do mosto (°C)	Temp. Amb. (°C)
8	50% (2,5 L)	3,890	1,052	44	29
9	50% (2,5 L)	3,753	1,054	45	29

Tabela 12 – Valores de unidades de gravidades (UG) dos mostos primário e total.

Lote	UG do mosto primário	UG total	UG obtida na etapa de lavagem
8	130,8	202,3	71,50
9	130,7	202,7	72,00

Tabela 13 – Eficiência de mosturação obtida nos lotes 8 e 9.

Lote	Máxima (%)	Mínima (%)	Média (%)
8	72,79	76,95	74,87
9	72,92	77,09	75,01

A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que houve um ganho de eficiência em relação aos outros lotes considerados viáveis, ao se utilizar 50% do volume total de água na mosturação. Estes resultados condizem com a proposição de Palmer (2006), de se utilizar entre 2,5 a 3,0 L de água por quilograma de grãos.

Porém, a eficiência média obtida nos lotes com 60% da água total na mosturação foi de 73,61%, enquanto que nos lotes com 50% foi de 74,94%, o que indica um ganho de 1,77%, percentagem esta que pode ser considerada irrelevante para pequenos equipamentos, já que acarretam em pequenas perdas de extrato, resultando em um pequeno aumento no custo de produção.

Sabendo-se da eficiência real do processo de mosturação, é possível adequar corretamente uma receita para obter resultados mais próximos aos programados, de acordo com as condições de cada equipamento ou técnica utilizada.

6 CONCLUSÕES

Para as condições estudadas pode-se concluir que menores volumes de água na mosturação, desde que suficientes para permitir o completo deslocamento do equilíbrio químico para os produtos, resultaram em aumento na eficiência de extração, avaliado pelo aumento no número de unidades de gravidades obtidas, atribuído as lavagens com maiores volumes de líquido.

Para a obtenção do extrato primário, sem a realização de lavagens, os lotes com maior volume de água obtiveram maior UG. Por outro lado, os lotes com menor volume obtiveram melhores resultados durante as lavagens, mostrando uma efetiva recuperação dos extratos.

Apenas o lote contendo 40% do volume total de água na mosturação mostrou-se ineficiente referente a completa conversão das macromoléculas de amido em açúcares constituintes do mosto, demonstrando que há um volume mínimo de trabalho a ser utilizado.

A obtenção de UG nos mostos foi maior nos lotes onde havia maior volume de água destinado a lavagem da torta de grãos, demonstrado um ganho em eficiência decorrente ao processo de lavagem, desta forma é interessante que se utilize o menor volume possível durante a mosturação para permitir um maior volume de água para a lavagem.

O volume equivalente a 50% do total de água, proposto após a obtenção dos resultados dos outros lotes, obteve melhores resultados de eficiência média das metodologias de mosturação propostas.

7 REFERÊNCIAS

1997 Cerveja Artesanal. **Roda dos sabores da cerveja**. 2013. Disponível em: <<https://www.facebook.com/chfvasconcelos/posts/10202304531799290>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

AGRÁRIA. **Catálogo de produtos**. 2015. Disponível em: <http://www.agraria.com.br/arquivos/Agraria_Catalogo_Maltes_2015.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2015.

AMBEV. **Nossa história: A construção de um sonho grande**. Ambev, 2014. Disponível em: <<http://www.ambev.com.br/nossa-historia/>>. Acesso em 01 set. 2015.

AQUARONE, E.; BORZANI W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotecnologia industrial Volume IV: Biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2001.

BAMFORTH, C. W. **Beer: Tap into the art and science of brewing**. Nova Iorque: Oxford University Press, 2003.

BAMFORTH C. W. **Beer: Health and nutrition**. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2004.

BARTH, R. **The chemistry of beer: The science in the Suds**. Nova Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

BELTRAMELLI, M. **Cervejas, brejas e birras: um guia completo para desmistificar a bebida mais popular do mundo**. São Paulo: Leya, 2012.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Decreto 6871 de 4 de junho de 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm>. Acesso em: 15 set, de 2015.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Lei nº 8918 de 14 de julho de 1994. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8918.htm>. Acesso em: 15 set, de 2015.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria MS Nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Disponível em: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: 15 set, 2015.

BREWERS ASSOCIATION. **Craft beer industry market segments**. Brewers Association, 2015. Disponível em: <<https://www.brewersassociation.org/statistics/market-segments/>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

BJCP. **BJCP Membership Guide**, 2015. Disponível em: <<http://www.bjcp.org/membersgd.php>>. Acesso em 21 ago. 2015.

DANIELS, R. **Designing great beers**: The ultimate guide to brewing classic beer styles. Colorado: Brewers Publications, 1996.

DEEDS, S. **Brewing engineering**: Great beer thought applied science. Estados Unidos da America: [s.n.], 2013.

JANSON, L. W. **Brew chem 101**: The Basics of homebrewing chemistry. Pownal: Storey, 1996.

MAPA. **História**. [20--]. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/ministerio/historia>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

PALMER, J. J. **How to brew**: Everything you need to know to brew beer right the first time. Brewers Publications, 2006.

PARANHOS, P. **2015**: Ano de desafios para o mercado cervejeiro. Mestre-cervejeiro.com, Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://www.mestre-cervejeiro.com/desafios-para-o-mercado-cervejeiro-em-2015/>>. Acesso em 29 ago. 2015.

PERRY, R. H; GREEN, D. W. **Perry's chemical engineer's handbook**. McGraw-Hill Professional, 2007.

PRIEST G. F.; STEWART G. G. **Handbook of brewing**, Taylor & Francis group, LLC.Nova Iorque, 2006.

SILVA, C. M. S. **Descritivo como fazer priming com açúcar invertido**. Alquimia da cerveja, [201-]. Disponível em <http://www.alquimiadacerveja.com.br/Artigos/Descritivo_Como_Fazer_Priming_com_Acucar_Invertido.pdf>. Acesso em 11 out. 2015.

SILVA, P. D. **Produção e avaliação sensorial de cerveja obtida a partir de mostos com elevadas concentrações de açúcares**. São Paulo, 2005.

STRONG, G.; ENGLAND, K. **Beer judge certification program 2015 style guidelines**: Beer style guidelines. BJCP, Inc, 2015.

VENTURINI FILHO, V. G., **Bebidas alcoólicas**: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Blucher, 2010.

VIEIRA, A. W. **Apostila de produção de cervejas artesanais**. São Paulo. ACervA Paulista, 2009.

WHITE, C. **Diacetyl time line**. White labs. Canadá, 2015. Disponível em: <<http://www.whitelabs.com/beer/diacetyl-time-line>>. Acesso em 25 set. 2015.

APÊNDICE 1

1 ELABORANDO UMA RECEITA

O primeiro passo na produção de uma cerveja é definir o estilo da bebida que se deseja produzir. Para isto pode-se utilizar o guia *Beer judge certification program* (BJCP) para estilos de cerveja como parâmetro.

O texto a seguir é baseado no livro *Desingning Great Beers* (1996) de Ray Daniels e foi adaptado ao sistema de unidade mais comumente utilizado no Brasil, para uma melhor compreensão.

Para se determinar a quantidade de maltes e ingredientes fermentáveis que constituirão uma receita deve-se considerar alguns fatores que serão abordados a seguir.

1.1 Gravidade específica desejada para a cerveja

Valor alvo dentro do estilo segundo o guia BJCP. Por exemplo uma cerveja *International Pale Lager* deve possuir um mosto de gravidade entre 1,042 e 1,050.

1.2 Volume final de cerveja

O volume final de cerveja deve ser definido de acordo com a capacidade do equipamento. Deve-se produzir cerca de 10% a mais do que o volume final desejado, considerando perdas envolvidas no processo de fermentação.

1.3 Proporção dos ingredientes fermentáveis

Deve-se listar todos os ingredientes que contribuirão com os açúcares do mosto e calcular a contribuição que cada um desses ingredientes deve fornecer ao mosto total, respeitando o estilo de cerveja que se deseja produzir.

1.4 Eficiência de extração

A eficiência de extração geralmente varia em torno de 60 a 80% para os equipamentos

utilizados por cervejeiros artesanais. A sacarose e outros açúcares em forma de extrato estarão 100 % disponíveis no processo.

A eficiência pode variar no mesmo equipamento devido a mudanças nas receitas ou alteração na qualidade dos ingredientes.

2 CALCULANDO A QUANTIDADE DOS MALTES

Para a elaboração de uma receita é necessário compreender o conceito de unidades de gravidade (UG). Esta unidade é uma representação do valor após a vírgula nas medidas de gravidade específica.

Pode-se obter a UG ao subtrair uma unidade da densidade relativa ou gravidade específica (GE) de um mosto e multiplicar o resultado por 1000, como o apresentado na **Equação 1**. Por exemplo, um mosto com gravidade específica de 1,046 possui 46 UG.

$$UG = (GE - 1) \times 1000 \quad (1)$$

Onde: UG = unidades de gravidade; GE = gravidade específica ou densidade relativa.

2.1 Determinando a unidade de gravidade total (UG_T) a partir do tipo e volume de cerveja desejados

A unidade de gravidade total (UG_T) representa a quantidade de substâncias que devem ser extraídas para atingir as definições do estilo de cerveja desejada. Este termo representa principalmente açúcares, necessários para a fermentação.

O mosto total (primário e secundário) e o volume final de cerveja desejado possibilitam o cálculo de UG_T do mosto obtido, indicando a quantidade total de sólidos que foram extraídos dos grãos, como pode ser observado na **Equação 2**.

$$UG_T = UG \times V \quad (2)$$

Onde: UG = unidades de gravidade; V = volume (L); UG_T = unidades de gravidade total.

No caso de um lote de 22 litros de cerveja com gravidade de 1,046, temos:

$$UG_T = 46 \text{ UG} \times 22 \text{ L}$$

$$UG_T = 1012 \text{ UG L}$$

2.2 Calculando a unidade de gravidade proveniente de cada um dos ingredientes utilizados

Após decidir as proporções dos ingredientes, para que a cerveja se adeque ao estilo desejado (ver guia BJCP), deve-se calcular a contribuição de cada ingrediente para a GU_T a partir da **Equação 3**.

$$UG_I = I \times UG_T \quad (3)$$

Onde: UG_I = unidades de gravidade do ingrediente; I = porcentagem do ingrediente; UG_T = unidades de gravidade total.

Considerando uma receita onde se utiliza 50% de malte pilsen e 50% de malte pale ale, temos para cada um dos ingredientes, a seguinte unidade de gravidade do ingrediente (UG_I):

$$UG_I = 0,5 \times 1012 \text{ UG L}$$

$$UG_I = 506 \text{ UG L}$$

2.3 Calculando a massa de cada ingrediente a ser utilizada

Os fabricantes de malte fornecem um valor de gravidade específica (GE) ou densidade relativa potencial a partir de 1 libra massa de malte em 1 galão de água. Alguns destes valores, apresentados na literatura, encontram-se na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Gravidade específica potencial dos mostos obtidos a partir de 1 libra massa de grãos em 1 galão

Ingrediente	Gravidade específica potencial do mosto - máxima (GE)	Gravidade específica potencial do mosto - mínima (GE)
<i>Chocolate/Black</i>	1,025	1,030
<i>Cristal/Cara</i>	1,033	1,035
<i>Munich/Vienna</i>	1,035	1,036
<i>Pale/Pilsner</i>	1,035	1,037

Fonte: Daniels (2013).

2.4 Calculando a UG no sistema de unidade utilizado mais comumente no Brasil

Para uma melhor compreensão é indicado que utilizemos os conceitos vistos no item 2.3 e os apliquemos as unidades que comumente utilizamos no Brasil, em pequena escala, para massa e volume, que seriam quilogramas e litros.

Para tal, vamos calcular a unidade de gravidade obtida utilizando-se 1 quilograma de grãos em 1 litro de água.

Considerando então a conversão das unidades e que 1 lb = 0,4536 kg e 1 gal = 3,7854 L, temos:

$$k = \frac{1 \text{ lb}}{1 \text{ gal}} \cdot \frac{0,4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \cdot \frac{1 \text{ gal}}{3,7854 \text{ L}} = 0,1198$$

Assim, para converter de $\frac{\text{lb}}{\text{gal}}$ para $\frac{\text{kg}}{\text{L}}$, multiplica-se por $k = 0,1198 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$ ou kg L^{-1} .

$$\frac{1}{k} = 8,3452 \text{ L kg}^{-1}$$

A partir dos cálculos apresentados acima e da constante k, pode-se calcular a UG que cada quilograma de grãos produz em um litro de água pela **Equação 4**:

$$\text{UG}_{\text{kg-L}} = \text{UG}_{\text{lb-gal}} \times 1/K \quad (4)$$

Onde: $\text{UG}_{\text{kg-L}}$ = UG potencial de 1 quilograma de grãos em 1 litro de água; $\text{UG}_{\text{lb-gal}}$ = UG potencial do ingrediente; $1/K = 8,3452 \text{ L kg}^{-1}$.

Para um malte pilsen de GE potencial de 1,036, temos:

$$\text{UG}_{\text{kg-L}} = 36 \text{ UG} \times 8,3452 \text{ L kg}^{-1}$$

$$\text{UG}_{\text{kg-L}} = 300,43 \text{ UG L kg}^{-1}$$

Por fim, para obter a massa de cada um dos ingredientes utilizados, divide-se a unidade de gravidade do ingrediente (UG_I) pela unidade gravimétrica potencial de 1 quilograma de grãos em 1 litro de água ($\text{UG}_{\text{kg-L}}$) levando-se em conta a eficiência de extração, como pode ser observado na **Equação 5**.

$$M_I = \text{UG}_I / (\text{UG}_{\text{kg-L}} \times \text{Ef}) \quad (5)$$

Onde: M_I = massa do ingrediente; UG_I = unidades de gravidade do ingrediente; $UG_{kg-L} = UG$ potencial de 1 quilograma de grãos em 1 litro de água; Ef = eficiência de extração.

Considerando uma eficiência de extração de 68%, um valor médio obtido para condições artesanais, obtém-se:

$$M_I = 506 \text{ UG L} / (300,43 \text{ UG L kg}^{-1} \times 0,68)$$

$$M_I = 2,48 \text{ kg de malte pilsen}$$

De acordo com os cálculos acima são necessários 2,48 kg de malte pilsen para produzir 22 litros de mosto com uma gravidade específica de 1,046 com eficiência de 68 %.

3 ESTIMANDO O VOLUME DE ÁGUA UTILIZADO

Calcular o volume de água necessário para uma produção pode evitar diversos problemas durante a brassagem, como por exemplo, gastar tempo e energia a mais para aquecer um volume maior do que o necessário. O inverso também pode acontecer, levar um volume de mosto reduzido para a fervura, gerando um volume final menor do que o previsto, o que acarretará uma densidade relativa, ou gravidade específica, maior do que a desejada.

A quantidade total de água para uma produção envolve diversas variáveis, sendo a primeira delas o volume de cerveja desejado. Para obter-se 20 litros de cerveja, é necessário um volume de água inicial maior que o desejado.

A perdas de água ocorrem em diversas etapas na produção de cerveja e pode-se categoriza-las de acordo com os itens que se seguem.

3.1 Água perdida por absorção nos grãos

Durante a mosturação os grãos absorvem uma quantidade de água que não pode ser recuperada no processo. Estima-se que o peso total do bagaço produzido tem como composição 20% de grãos e 80% de água.

Deve-se lembrar também que o peso dos grãos não é mais o mesmo que foi adicionado na receita, durante a mosturação açúcares, proteínas, e outras substâncias são extraídas, deixando apenas resíduos.

É seguro afirmar que a massa após a mosturação equivale a 40% da massa de grãos adicionada no início do processo. Portanto, o processamento de cinco kg de grãos resulta em aproximadamente dois quilogramas de resíduo. A massa em água é igual, aproximadamente, a 4 vezes a massa de resíduo de grãos, portanto, para 2 kg resíduo, tem-se 8 kg de água.

Outra forma mais simples é considerar que cada 600 g de grãos equivalem a aproximadamente 1 L de água absorvida (DEEDS, 2013).

3.2 Água perdida por evaporação devido a aquecimento

A perda de água por evaporação geralmente é calculada considerando-se a taxa de evaporação por hora, relacionada com a duração da fervura. Esta taxa pode variar de acordo com a quantidade de água aquecida e a taxa de aquecimento da fonte geradora de calor.

É conveniente a utilização de uma taxa de perda por evaporação de 5% do volume total por hora de fervura.

3.3 Água perdida no equipamento

A quantidade de água perdida no equipamento deve ser medida de acordo com o utensílio utilizado. Perdas de água podem ocorrer devido a distância da válvula ao fundo da panela, retenção em tubulações e paredes, em processos de transferências, dentre outros. Esta quantidade pode ser considerada irrelevante em alguns equipamentos de cervejeiros artesanais.

3.4 Água perdida por mudança da gravidade específica do mosto mediante a resfriamento

A temperatura influencia diretamente na gravidade específica das substâncias, de acordo com seu coeficiente de dilatação. Após o aquecimento, o mosto pode chegar a temperaturas de aproximadamente 100 °C e deve ser resfriado para um valor adequado para a fermentação, geralmente inferior a 25 °C, de acordo com a levedura a ser utilizada.

Esta variação na temperatura altera significativamente a gravidade específica do mosto, conseqüentemente, também altera seu volume. Pode-se considerar uma variação de 4 % no volume do mosto devido ao resfriamento.

4 CALCULANDO A EFICIÊNCIA DO PROCESSO

A eficiência de uma brassagem pode ser calculada pela **Equação 6**, dividindo-se a UG_T real obtida no mosto pela UG_T teórica disponível nos grãos, expressa em percentagem com a multiplicação por 100:

$$E_f = (UG_{Tr} / UG_T) \times 100 \quad (6)$$

Onde: E_f = Eficiência; UG_{Tr} = Unidades de gravidade total real; UG_T = Unidades de gravidade total.

Por exemplo, se o valor de UG_{Tr} obtido na mosturação de um lote for de 200 UG e o valor de UG total potencial ou teórica encontra-se entre 262,88 a 277,90 UG, temos:

A eficiência máxima:

$$E_f = (200 / 262,88) \times 100$$

$$E_f = 76,8 \%$$

A eficiência mínima:

$$E_f = (200 / 277,90) \times 100$$

$$E_f = 72,0 \%$$

APÊNDICE 2

1 ELABORAÇÃO DA RECEITA A SER UTILIZADA NO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Para a produção de diversos lotes, visando a comparação da eficiência de três métodos de mosturação com diferentes volumes de lavagem, optou-se pela produção de uma cerveja leve, com uma pequena proporção de maltes por litro.

Segundo o BJCP, para estilos de cerveja, o *international pale lager*, categorizado com 2A, se enquadra no tipo de cerveja escolhido. Este possui uma gravidade específica entre 1,042 a 1,050. Para questões de cálculos, utilizaremos o valor médio de 1,046.

O volume de cada lote será suficiente para a produção de 6 garrafas de 600 mL, portanto deve-se obter um volume final de 3,6 litros de cerveja.

1.1 Quantidade de água necessária para produção de 3,6 litros de cerveja

Ao fim da mosturação diversas substâncias insolúveis no mosto, como cascas, proteínas coaguladas pela fervura e resto de lúpulos encontram-se depositadas ao fundo da panela, este sedimento é conhecido como *trub*.

Deve-se conhecer bem o equipamento a ser utilizado, no caso do equipamento de produção em escala de bancada com capacidade de 5 litros, as perdas se localizam em líquido misturado com o *trub*, incapacidade volume residual devido ao espaço entre a válvula e o fundo da panela, perdas com os resíduos no fermentador. A partir de experiências prévias, estimou-se estas perdas como 10%. Portanto serão necessários aproximadamente 4 litros de mosto após o resfriamento.

1.2 Água perdida por mudança da gravidade específica do mosto mediante o resfriamento

O volume do mosto é reduzido em aproximadamente 4 %. Por este motivo há a necessidade do incremento deste valor. Ou seja, o acréscimo 0,16 L, totalizando 4,16 L de mosto após a fervura devido a alteração da temperatura.

1.3 Água perdida por evaporação devido a aquecimento

Perde-se aproximadamente 5% do volume devido as altas temperaturas do mosto durante o processo. Por este motivo deve-se incrementar o volume em 0,22 L, totalizando aproximadamente 4,38L.

1.4 Quantidade de grãos

Para a produção de 4 litros de mosto de uma cerveja 2A com gravidade específica alvo de 1,046, calcula-se a UG_T necessária.

$$UG_T = UG \times V$$

$$UG_T = 46 UG \times 4 L$$

$$UG_T = 184 UG L$$

Considerando-se que a quantidade de ingredientes disponíveis é de 5 kg de malte pale ale e 5kg de malte pilsen e ambos com GE potencial de 1,036, serão utilizados 50% de cada malte na elaboração da receita.

$$UG_I = I \times UG_T$$

$$UG_I = 0,5 \times 184$$

$$UG_I = 92 UG L$$

Considerando a GE potencial dos maltes pale ale e pilsen como 1,036, converte-se para UG em quilogramas por litro.

$$UG_{kg-L} = UG_{lb-gal} \times 1/K$$

$$UG_{kg-L} = 36 \times 8,3452$$

$$UG_{kg-L} = 300,43 UG L kg^{-1}$$

Obtido este valor de UG, calcula-se a massa de malte necessária. Para isso, considera-se a eficiência do equipamento como de 68%, comum entre sistemas de produção artesanal.

$$M_I = UG_I / (UG_{kg} \times Ef)$$

$$M_I = 92 UG L / (300,43 UG L kg^{-1} \times 0,68)$$

$$M_I = 0,45 kg \text{ de cada malte}$$

Para a produção de 4 litros de mosto com gravidade específica de 1,046, serão utilizados 450g de malte pilsen e 450g de malte pale ale.