**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA**

ORERVES MARTÍNEZ CASTRO

**Obtenção de cerveja super concentrada com a
utilização de xarope de milho como adjunto de malte**

Lorena - SP
2014

ORERVES MARTÍNEZ CASTRO

**Obtenção de cerveja super concentrada com a
utilização de xarope de milho como adjunto de malte**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de
Lorena da Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-
Graduação em Biotecnologia Industrial

Orientador: Prof. Dr. João Batista de Almeida e Silva

Edição reimpressa e corrigida

Lorena - SP

Julho, 2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catálogo na Publicação

Biblioteca “Cel. Luiz Sylvio Teixeira Leite”
Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo

Martínez Castro, Orerves

Obtenção de cerveja super concentrada com a utilização de xarope de milho como adjunto de malte. / Orerves Martínez Castro. –ed. reimpr., corr.- 2014.
144 p. : il.

Dissertação (Mestre em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Conversão de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2014.

Orientador: João Batista de Almeida e Silva

1. Cerveja 2. Mosto super concentrado 3. Leveduras 4. Xarope de milho. I. Título. II. Silva, João Batista de Almeida e, orient.

663.422 - CDU

*Dedico esta dissertação a minha mãe e
minha avó, que desde o céu me guiam;
Para o meu filho, que é o sol que brilha em
mim; E para toda a minha família.*

Agradecimentos

Ao Departamento de Biotecnologia da Escola de Engenharia de Lorena, pela oportunidade da realização do curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. João Batista de Almeida e Silva, pela confiança, aprendizado e amizade.

Ao Pesquisador Raúl Carrillo Ulloa, pelos anos de aprendizado, amizade e estímulo constante.

À agência CNPq, pelo apoio financeiro.

Aos professores: Dra. Maria das Graças de Almeida Felipe, Dra. Inês Conceição Roberto, Dra. Maria Bernadete de Medeiros, Dr. Ismael Maciel de Mancilha e Dr. Walter de Carvalho, pelas dicas e ajuda oferecida.

Às amizades conquistadas durante todo este tempo na Planta Piloto de Bebidas: Raquel Aizemberg, Raquel Almeida, Carla, Michelle, Natalia, Tassiana, Barbara, Rafaela, Larissa, Carol, Waldir, Rodrigo, Diogo, Mateus, Ricardo Dall'Oglio, Giovani, Felipe, Milton, Eduardo, Ricardo.

A todos os professores e funcionários do Debiq, pela ajuda em todos os momentos.

Aos estudantes do Departamento de Biotecnologia, pela amizade.

Aos técnicos Paulinho e Zé Cobrinha, pela grande amizade.

Aos meus amigos cubanos: Dayami, Maibe, Carrillo, Pépe, Raulito, Marcelo, Alvaro, Palermo, Jorge Pérez, Jorge Prendes, Néstor, Santiago, Minaldo, Osvaldo, Ernesto, Noel, Oscar, Wilian, Jorge, Teddy, Pita, Orta, Maceo.

Aos meus amigos do IIIA: Arelys, Reina, Charo, Diagnis, Maday, Magaly, Oxalys, Luisito, Alexis, Ariel, Reinier.

Aos meus amigos e suas famílias, de fora do Debiq: João Batista, Waldir, Batatinha, Augusto, Haroldo, Helena, Otavio, Gilbert, Paulo, Enrique, Elcio.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

MARTÍNEZ, O. **Obtenção de cerveja super concentrada com a utilização de xarope de milho como adjunto do malte.** 2014. 144 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, São Paulo, 2014.

Este trabalho teve por objetivo a utilização de xarope de milho na elaboração de cerveja super concentrada. Para atingir este propósito foram realizados ensaios em escala de 5 litros, testando três proporções quanto à relação de extrato de malte e de xarope de milho. Para seguir a legislação brasileira de acordo com o Decreto 6.871, de 2009, foram propostos para a realização dos experimentos as proporções de 70/30, 55/45 e 20/80 de malte:xarope de milho. Na proporção 20/80, definida pelo referido Decreto como cerveja de milho foram avaliadas diferentes variantes para obter diferentes concentrações alcoólicas, obtendo resultados inadequados. As fermentações foram conduzidas em regime descontínuo alimentado, com a adição do xarope por cargas, e foi utilizada uma levedura com alta eficiência fermentativa que tem demonstrado alta tolerância a concentrações de álcool, classificada como PPB - 01. Para comparar com os mostos experimentais, foram elaborados mostos padrões nas proporções 70/30 e 55/45. Em escala piloto foi elaborada uma prova de cerveja super concentrada, para as proporções 70/30 e 55/45, malte/milho. Foram avaliados os parâmetros cinéticos dos processos. As eficiências de formação de álcool e de consumo de extrato foram acima dos 90%, o que garantiu um bom processo fermentativo. As cervejas obtidas na escala piloto foram submetidas a análises sensoriais e comparadas com uma cerveja comercial, obtendo ótimos resultados. As duas proporções aprovadas proporcionaram economia de energia térmica e elétrica, quando comparadas com as cervejas padrões. Os resultados obtidos no projeto demonstraram que é possível a aplicação desta tecnologia, aumentando a produtividade utilizando os mesmos equipamentos e obtendo benefícios energéticos, econômicos e meio ambientais.

Palavras chaves: Cerveja. Mosto super concentrado. Levedura. Xarope de milho.

ABSTRACT

Martínez, O. **Obtaining super concentrated beer using corn syrup as adjunct of malt.** 2014. 144 p. Dissertation (Master of Science) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

The aim of this project was the use of corn syrup to develop super concentrated beer. Accomplishing this purpose was made initially two repeat experiments on a scale of 5 liters and testing three variants as regards the relationship of malt extract and corn. Following the Brazilian law in accordance with the Decree 6.871, 2009, was proposed for the realization of experiments the proportions of 70/30, 55/45 and 20/80 from malt and corn. In the proportion 20/80, defined by Decree as corn beer, were evaluated different variants for obtaining different alcohol concentrations, obtaining inadequate results. Fermentations were conducted in fed batch regime with the addition of the syrup in pulses, and was used one yeast with high efficiency of fermentation and tolerating of alcohol high concentrations, classified as PPB - 01. To compare with the experimental worts, were prepared standards worts for proportions 70/30 and 55/45. In pilot scale, were made experiments of super concentrated beer to the proportions 70/30 and 55/45, malt/corn. The kinetic parameters of the processes were evaluated. The efficiencies of formation of alcohol and consumption of extract were above 90%, which ensured a good fermentation. The experimental beers obtained in pilot scale were subjected to sensory analysis compared with a beer sold in trade, getting great results. The two proportions approved had saving thermal and electrical energy, when compared with standards beers. The results obtained in the project demonstrated that it is possible to apply this technology, increasing equipment productivity and getting energy, economic and environmental benefits.

Key words: Beer. Super concentrated wort. Yeast. Corn syrup.

LISTA DE FIGURA

Figura 1	Países maiores produtores de cerveja em 2010 (BBIE, 2011).....	18
Figura 2	Gráfico de mosturação por infusão para cerveja super concentrada (CARRILLO, R. D; CARRILLO, R; MARTÍNEZ, 2011).....	48
Figura 3	Requerimentos de energia térmica em uma cervejaria (Schu, 2014).....	50
Figura 4	Requerimentos de energia elétrica em uma cervejaria (Schu, 2014).....	51
Figura 5	Gráfico de mosturação utilizado para obter os mostos experimentais.....	60
Figura 6	Gráfico de mosturação utilizado para obter os mostos padrões.....	61
Figura 7	Formação de álcool nas fermentações para cervejas 70/30 malte/ xarope de milho.....	75
Figura 8	Atenuação do extrato real nas fermentações para cervejas 70/30 malte/xarope de milho.....	76
Figura 9	Formação de álcool nas fermentações para cervejas 55/45 malte/ xarope de milho.....	76
Figura 10	Atenuação do extrato real nas fermentações para cervejas 55/45 malte/xarope de milho.....	77
Figura 11	Formação de álcool nas fermentações para cervejas de milho, 20/80 malte/ xarope de milho.....	78
Figura 12	Atenuação do extrato real nas fermentações para cervejas de milho, 20/80 malte/xarope de milho.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análises de algumas águas de cervejarias famosas, (expressadas em mg/L) (BRIGGS e col., 2004).....	24
Tabela 2	Comparação entre o grão de cevada e do malte (CEREDA, 1985; ALMEIDA E SILVA, 2005).....	26
Tabela 3	Características de maltes especiais quanto à intensidade de cor e temperatura de preparação (KUNZE, 1999).....	27
Tabela 4	Características de adjuntos cervejeiros ricos em açúcares, encontradas na forma cristalina e xaropes (BRIGGS, 2004).....	29
Tabela 5	Características dos xaropes de milho comerciais (BRADEE e col., 2002 e folha técnica de Produtos Cargill).....	30
Tabela 6	Aplicações de adjuntos de acordo com os tipos de cervejas (BRADEE, 2002).....	31
Tabela 7	Composição química do lúpulo em flor (ALMEIDA E SILVA, 2005).....	32
Tabela 8	Diferenças entre as leveduras cervejeiras <i>Lager</i> e <i>A/e</i> (DEÁK, 2008).....	34
Tabela 9	Parâmetros comumente analisados nos mostos cervejeiros (MEILGAARD, 2002).....	38
Tabela 10	Características físicas químicas da água do poço artesiano da EEL.....	54
Tabela 11	Características do malte Pilsen (Malteria do Vale Ltda, 2012).....	55
Tabela 12	Principais especificações do xarope de milho MALTEGILL® 45/82 (Cargill, 2013).....	56
Tabela 13	Características dos mostos com as proporções 70/30 e 55/ 45, malte/milho.....	70
Tabela 14	Características dos mostos na proporção 20/80, malte/milho, procurando simular diferentes concentrações de álcool.....	71

Tabela 15	Comparação da concentração de FAN nos mostos 70/30 e 55/45, malte milho, com a proporção ideal.....	72
Tabela 16	Comparação da concentração de FAN nos mostos 20/80, malte milho, com diferentes concentrações alcoólicas.....	73
Tabela 17	Parâmetros cinéticos avaliados nas fermentações das diferentes proporções.....	81
Tabela 18	Parâmetros cinéticos avaliados nas fermentações das diferentes proporções (continuação).....	82
Tabela 19	Resultados das concentrações de FAN nas cervejas.....	83
Tabela 20	Fator de diluição para as cervejas obtidas.....	84
Tabela 21	Análises das cervejas padrões, super concentradas e diluídas.....	84
Tabela 22	Resultados da análise sensorial das cervejas experimentais diluídas quando comparadas com uma cerveja comercial.....	86
Tabela 23	Economia de energia térmica na elaboração de dos mostos concentrados.....	86
Tabela 24	Avaliação econômica das cervejas estudadas.....	87
Tabela 25	Massas de gases de efeito estufa que podem ser deixados de emitir por cada hL de cerveja.....	88
Tabela 26	Massas de gases de efeito estufa que podem ser deixados de emitir para 10 milhões de hL de cerveja.....	88

NOMENCLATURA

ASBC- É uma medida de cor que tem relação com a medição de cor da EBC ($EBC = 1,97 * ASBC$).

Atenuação- Porcentagem de consumo de extrato na fermentação.

Graus Brix, °Brix- Concentração de sólidos dissolvidos, medidos a 15°C (% m/m).

Extrato aparente- Concentração de sólidos dissolvidos no mosto fermentado com a influência da densidade do etanol formado.

Extrato original- Concentração de sólidos dissolvidos no mosto ao início da fermentação.

Extrato real- Concentração de sólidos dissolvidos no mosto fermentado sem a influência da densidade do etanol formado.

FAN- Amino ácidos livres dissolvidos.

Graus Plato, °P- Concentração de sólidos dissolvidos, medidos a 20°C (%m/m).

IBU- Unidades de amargor, expressas em mg de α -ácidos por litro da bebida.

Reação ao iodo- Prova feita para comprovar a ausência de amido no mosto cervejeiro.

UA- Unidades Anson de atividade de enzimas proteolíticas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 Cerveja super concentrada	21
2.1.1 Características e propriedades	21
2.1.2 Benefícios esperados	22
2.2 Matérias primas	23
2.2.1 Água	23
2.2.2 Malte	25
2.2.3 Adjuntos	27
2.2.4 Xarope de milho	29
2.2.5 Lúpulo	31
2.2.6 Levedura	33
2.3 Fatores que influenciam na elaboração de cervejas concentradas	36
2.3.1 Concentração do mosto e viabilidade celular	36
2.3.2 Composição do mosto cervejeiro	37
2.3.4 Suplementação do mosto	39
2.3.5 Temperatura de fermentação	41
2.3.6 Suplementação de oxigênio ao mosto	42
2.3.7 Concentração celular inicial	42
2.4 Utilização de enzimas exógenas	43
2.4.1 Papaína	44
2.4.2 Termamyl	44
2.5 Processos para a produção de cervejas concentradas	45
2.6 Avaliação sensorial	48
2.7 Avaliações energética, econômica e do meio ambiente	49
2.7.1 Avaliação energética	49
2.7.2 Avaliação econômica	51
2.7.3 Avaliação do meio ambiente	52
3. OBJETIVOS	53

3.1 Geral	53
3.2 Específicos	53
4. MATERIAL E MÉTODOS	54
4.1 Material	54
4.1.1 Água	54
4.1.2 Malte	55
4.1.3 Xarope de milho	56
4.1.4 Lúpulo	56
4.1.5 Levedura	57
4.2 Inóculo	57
4.3 Processamento	57
4.3.1 Preparação do xarope de milho	59
4.3.2 Moagem do malte	59
4.3.3 Mosturação	60
4.3.4 Filtração do mosto	62
4.3.5 Fervura do mosto	62
4.3.5 Fermentação – Maturação	62
4.3.6 Acabamento da cerveja	64
4.4 Determinação dos parâmetros do mosto	64
4.5 Determinação dos parâmetros fermentativos	65
4.6 Determinação dos parâmetros cinéticos	65
4.7 Avaliação da concentração do nitrogênio amínico livre nos parâmetros fermentativos	66
4.8 Avaliação sensorial da cerveja diluída	67
4.9 Avaliação energética das proporções estudadas	67
4.10 Avaliação econômica e ambiental da proporção selecionada	69
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1 Características do mosto	70
5.2 Avaliação da concentração da concentração do nitrogênio amínico livre (FAN) nos mostos	72
5.3 Avaliação dos parâmetros fermentativos	74
5.4 Avaliação dos parâmetros cinéticos	80
5.5 Avaliação das características das cervejas estudadas	83

5.6 Avaliação sensorial das cervejas estudadas.....	85
5.7 Avaliação da economia energética das cervejas estudadas	86
5.8 Avaliação econômica das cervejas estudadas	87
5.9 Avaliação do efeito sobre o meio ambiente das cervejas estudadas	88
6. CONCLUSÕES	91
7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	92
REFERÊNCIAS	93
APÊNDICES	103

1 INTRODUÇÃO

A palavra cerveja é proveniente do infinitivo latino "bibere" que significa beber. Nos monastérios medievais fabricava-se cerveja e com certeza os monges tiveram a responsabilidade de difundir o nome que propagou à bebida em toda a Europa Central (HARDWICK, 2002).

A cerveja é uma das bebidas mais antigas que existem. Alguns pesquisadores acreditam que a bebida existia na Mesopotâmia e Suméria no ano 10 000 antes de Cristo (A.C.). Em 1981 foi encontrada uma tabela gravada em pedra que descreve um tipo de cerveja que se elaborava na Babilônia no ano 6.000 a.C. Na antiguidade os chineses também elaboravam cerveja do mesmo modo que as civilizações pré-colombianas da América, utilizando o milho no lugar da cevada para produzir a bebida (INDUSTRIA ..., 2013).

Sánchez (2013) acredita que nenhuma das invenções do homem foi feita em um só lugar ou por uma única pessoa. Tradicionalmente, tem sido colocado o nascimento de cerveja no momento da civilização suméria, mas ainda tem sido encontrados vestígios mais antigos na China e na região amazônica. Tradicionalmente, os índios sul-americanos têm fabricado dois tipos de cervejas: a chamada *Masato* feita de Mandioca e uma cerveja chamada *Chicha* feita à base de milho. Ainda segundo a fonte, com a "descoberta" da América, as coisas mudaram radicalmente para a cervejaria do Novo Mundo. Durante o século XVII, XVIII e XIX, colonos europeus trouxeram para a América as suas técnicas e receitas para fazer cerveja. Ao longo do tempo algumas dessas cervejas foram regionalizadas; no entanto, foi no final do século XIX, que a indústria se desenvolveu em nosso continente impulsionada pelos avanços tecnológicos produzidos pela Revolução Industrial na Grã-Bretanha.

A produção de cerveja é uma atividade desenvolvida pelo homem desde o início da urbanização e civilização no período Neolítico. Segundo Meussdoerffer (2009) a cerveja é um produto valorizado tanto por suas propriedades físicas e qualidade química, quanto por seu envolvimento com os ritos religiosos e sua utilização na culinária, ou seja, a tradição. Assim, ao falar da história da produção de cerveja não é apenas sobre os avanços tecnológicos desenvolvidos nela, mas

também da sua importância na vida das pessoas: a sua governança, a sua economia, seus ritos e sua vida diária.

No Brasil a história das primeiras cervejarias começa com a chegada de Maurício de Nassau ao Recife em 1637 que veio rodeado de cientistas e entre eles cervejeiros. Foi um período de prosperidade para a cidade do Recife, que se desenvolveu rapidamente tornando-se o principal porto da Companhia das Índias Ocidentais no Brasil, tendo também a primeira ponte, o primeiro observatório astronômico e a primeira fábrica de cerveja das Américas. Junto com Nassau veio o cervejeiro Dirck Dix com uma planta de cervejaria e os componentes para serem montados. A cervejaria foi montada a partir de outubro de 1640, em uma residência chamada "La Fontaine" que Nassau doou para esse empreendimento (HISTÓRIA ..., 2014).

Antigamente o processo de fabricação da cerveja era moldado na experiência e tradição do cervejeiro. Pesquisas desenvolvidas em elaboração de cerveja foram muito importantes para o desenvolvimento da humanidade (HISTÓRIA ..., 2014 e KUNZE, 1999). No século XIX, o cientista francês, Louis Pasteur descobriu que eram microrganismos os responsáveis pela deterioração de mostos e cervejas, e que estes poderiam estar no ar, na água e nos equipamentos da cervejaria. Graças a esse princípio, limpeza e higiene tornaram-se fundamentais dentro da cervejaria. Além disso, este princípio propiciou o desenvolvimento da pasteurização, método pelo que o cientista é lembrado.

Ainda segundo as fontes, existem dois grandes feitos envolvendo a evolução da cerveja. O cientista Emil Christian Hansen, no laboratório da cervejaria Carlsberg, conseguiu separar estirpes de leveduras com metabolitos diferentes, desenvolvendo o método de cultura pura, descoberta muito importante para a ciência microbiológica e que permitiu padronizar o sabor e a qualidade da cerveja. O outro nome é Carl Von Linde que desenvolveu a geração de frio artificialmente com sua máquina frigorífica à base de amônia. Com isso a cerveja poderia ser feita em qualquer época do ano, pois os cervejeiros conseguiam controlar a fermentação.

Almeida e Silva (2005) confirma que o processo cervejeiro era exercido por padeiros, devido à natureza da matéria prima, como grãos de cereais e leveduras. A cevada era deixada de molho até germinar e então era moída grosseiramente, moldada em bolos, aos quais se adicionava a levedura. Os bolos, após

parcialmente assados e desfeitos, eram colocados em jarras com água e deixados a fermentar. Esta cerveja rústica ainda é fabricada no Egito, e esta invenção dos egípcios fez com que a cerveja fosse conhecida pelos povos orientais, fazendo com que a bebida chegasse à Europa e daí para o resto do mundo.

Segundo Briggs et al. (2004), a cerveja é um produto projetado para ser bebido. É uma mistura complexa, contendo mais de 450 componentes que foram caracterizados, e além disso, contém macromoléculas tais como proteínas, ácidos nucleicos, polissacarídeos e lípidos. Juntos todos esses constituintes produzem as características da cerveja.

Almeida e Silva (2005) define a cerveja como um produto tradicionalmente aceito por milhares de anos, entendida como uma bebida carbonatada de baixo teor alcoólico, preparada a partir da fermentação de cevada de malte contendo lúpulo e água de boa qualidade. Podem-se utilizar outras matérias-primas para a obtenção de mosto, como arroz, trigo ou milho, denominados adjuntos.

Os adjuntos são matérias-primas diferentes do malte que fornecem extrato cervejeiro. Briggs et al. (2004) relatam, que os adjuntos são utilizados para aumentar o rendimento do mosto cervejeiro e que também conferem características sensoriais próprias ao produto.

Segundo pesquisas feitas no ano 2004, o mercado cervejeiro sul-americano havia crescido mais do que a média mundial nos últimos dez anos, demonstrando o grande potencial de desenvolvimento do consumo per capita para os próximos anos. Esses estudos também demonstravam que o consumo per capita apresentava diferenças acentuadas nos mercados sul-americanos. O Brasil dominava o mercado sul-americano, e era o quarto maior produtor mundial de cerveja, com um volume de produção de 89 milhões de hectolitros. O mercado brasileiro era seguido, com uma distância bastante grande, pela Venezuela (21,5 milhões de hL), Colômbia (15,4 milhões de hL) e Argentina (13,5 milhões de hL). Um terceiro grupo era constituído pelo Peru (6,5 milhões de hL), Chile (4,3 milhões de hL) e Equador (3,5 milhões de hL) (MERCADO ..., 2004).

O Brasil tem crescido muito na produção de cerveja. A Figura 1 apresenta os quinze países maiores produtores de cerveja no ano 2010. Segundo estudos feitos pela revista BREWING AND BEVERAGE INDUSTRY ESPAÑOL em 2010 o Brasil tinha escalado ao terceiro lugar em produção de cerveja, com uma

quantidade de 114 milhões de hL, proporcionando um crescimento de 6,5%, quando comparado ao ano anterior. Quando comparado com o ano de 2004, o crescimento foi de 30,3% o que demonstra o desenvolvimento da indústria cervejeira brasileira em seis anos.

Figura 1 - Países maiores produtores de cerveja em 2010.

A cadeia produtiva de cerveja no Brasil paga R\$ 16,4 bilhões em salários para seus empregados, valor equivalente ao orçamento do programa Bolsa Família em 2011 (AMBEV, 2013). Os dados apontam que a cadeia da cerveja responde por 1,6% do PIB brasileiro e que mais de 1,7 milhão de pessoas trabalham nessa cadeia, o que equivale a empregar pouco mais do que a população de Porto Alegre (RS). A AmBev, como grande empresa líder do setor, tem papel preponderante e é referência em cultura, gestão, responsabilidade social e meio ambiente.

Segundo Hinrichs; Kleinbach e Dos Reis (2011) a energia é uma das principais exigências da sociedade moderna porque é necessária para criar bens de consumo. Grande parte da energia gerada no mundo é proveniente de combustíveis fósseis, o que cria com o transcorrer dos anos problemas com o

meio ambiente pela liberação de gases de efeito estufa. Os autores apontam que vivemos em uma era de preocupação ambiental onde é fundamental adotar medidas para favorecer o meio ambiente. O uso excessivo de nossos recursos energéticos e a aplicação de produtos químicos são dois dos principais fatores que afetam o meio ambiente. As cervejarias são indústrias que têm grande consumo de energia e de produtos químicos, além de gerar grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos, motivo por que tecnologias que diminuam estes parâmetros são fundamentais para a sustentabilidade destas produções.

Há muitos anos, os pesquisadores e especialistas cervejeiros têm dedicado grande parte das suas atividades à busca de procedimentos e tecnologias que permitam incrementar a produtividade e economia das matérias-primas na produção de cervejas para avaliar o incremento constante do preço do produto. Outra tendência nas pesquisas da área é procurar tecnologias que originem economia de energia e diminuam os efeitos negativos ao meio ambiente.

Em diferentes partes do mundo são elaborados e fermentados mostos de elevado peso específico e depois de fermentados as cervejas obtidas são diluídas à concentração alcoólica adequada para a venda. Esta tecnologia aumenta a capacidade da instalação, gera economia de energia e também origina benefícios econômicos e ao meio ambiente. Algumas cervejarias têm unidades engarrafadoras em lugares distantes de onde a cerveja é feita, e para estas unidades a bebida é levada concentrada para garantir economia de combustíveis na transportação.

Um exemplo disso é Cuba que na atualidade não tem cervejarias na zona ocidental do país e a cerveja é transportada em carros refrigerados, de lugares muito distantes para as unidades envasadoras onde a cerveja é diluída, engarrafada e vendida. Nas cervejarias a cerveja é elaborada de mostos com uma concentração original de 16°P (porcentagem de sólidos dissolvidos) e depois a bebida é diluída nas unidades envasadoras, a concentrações originais de 10°P, para sua venda.

O processo de transporte da cerveja provoca grandes gastos de combustível devido às longas distancias entre a produção e a distribuição. Além disso, se soma o retorno dos carros vazios que é um gasto de combustível sem utilidade (CARRILLO, 2009). Qualquer tecnologia que permita obter cervejas com maiores concentrações será fundamental para os benefícios econômicos energéticos e

ambientais, e assim fazer com que o processo de produção de cerveja seja mais sustentável.

Na atualidade tem muitas pesquisas sendo desenvolvidas para a elaboração de cervejas super concentradas a partir da fermentação de mostos altamente concentrados (very high gravity brewing). Para a obtenção destas cervejas os pesquisadores falam da importância da estirpe de levedura utilizada e das condições e a forma de conduzir o processo. A implementação industrial desta tecnologia aportaria grandes vantagens para as cervejarias e o meio ambiente.

Considerando a possibilidade de ter uma base de pesquisas desenvolvidas desta tecnologia, de possuir uma levedura tolerante a alta concentração alcoólica (PPB-01), e a necessidade de economia de energia e melhoria do meio ambiente na atualidade, este trabalho visa avaliar o potencial da utilização do xarope de milho, como adjunto, na elaboração de cerveja super concentrada.

Ressalta-se que este projeto apresenta caráter tecnológico inovador, uma vez que no setor cervejeiro já se pesquisa muito com mostos super concentrados, mas industrialmente ainda não tem aplicação e os resultados do processo desenvolvido para elaborar cerveja super concentrada, utilizando o potencial do xarope de milho como adjunto, podem trazer importantes avanços para desenvolvimento desta tecnologia.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cerveja Super Concentrada

2.1.1 Características e propriedades

Na fabricação de cervejas tradicionais, são utilizados mostos de 11 a 12% de sólidos dissolvidos, os quais são fermentados para produzir cervejas de 4 a 5% (v/v) de etanol. Há alguns anos, a fabricação de cerveja a partir de mostos de alta densidade (high gravity brewing) com um limite de 16 a 18% de sólidos dissolvidos tornou-se popular devido a muitas vantagens (AMERICAN SOCIETY FOR MICROBIOLOGY, 2013).

A elaboração de cervejas concentradas tem como objetivo aumentar a utilidade da sala de cozimento, dos reatores de fermentação, dos tanques de maturação e dos filtros de cerveja. Nesta tecnologia, nota-se que sua implementação pode incrementar substancialmente a produtividade das cervejarias existentes e reduzir os custos de operação (HAWKING, 1975; ALMEIDA e SILVA, 2005).

Segundo Stewart e Russell (2009), a elaboração de cerveja concentrada é um procedimento que precisa de um mosto de maior concentração do que aquela geralmente utilizada, e requer diluição com água (usualmente desoxigenada), em alguma operação do processo. O incremento da demanda de produção, pode-se realizar sem expansão dos equipamentos existentes na elaboração, fermentação e armazenagem; isto é explicável pela redução da quantidade de água empregada na sala de cozimento. A reconstituição com água pode ser realizada completamente, ou em parte, em quase qualquer etapa do processo, incluindo; tina de fervura, resfriamento do mosto, durante ou depois da fermentação, durante a maturação e antes ou depois da filtração da cerveja.

Existem numerosas pesquisas em tecnologias de fermentação alcoólica desde início do milênio, e ao mesmo tempo a indústria do álcool tem se ocupado

em incorporar tecnologias que potencializem a redução de energia e o incremento da produtividade e a eficiência dos métodos de produção existentes. A tecnologia de fermentação de mostos com alta densidade é uma tecnologia emergente, versátil, que oferece maior economia nos requerimentos de água e de energia em todo o processo. A tecnologia também permite o incremento da eficiência da fermentação sem grandes mudanças nos equipamentos existentes, eficiente utilização dos reatores e a redução das perdas (PULIGUNDIA; SMOGROVACOVA; OBULAM, 2011).

Segundo Almeida e Silva (2005) e Carrillo, R. D; Carrillo, R e Martínez (2011), uma nova tendência para desenvolvimento da indústria cervejeira é a obtenção de cervejas a partir de mostos super concentrados (very high gravity brewing). Define-se como cerveja super concentrada, à obtida pela preparação e fermentação de mostos de concentrações superiores a 18°P. Este processo visa aumentar os benefícios já disponíveis na fabricação de cerveja obtida de mostos de alta densidade.

2.1.2 Benefícios esperados

Conforme Stewart e Russell (2009), os processos de cervejas concentradas tem um número de vantagens e desvantagens. As vantagens podem ser resumidas em:

- incremento da capacidade de elaboração e uso mais eficiente dos equipamentos existentes nas cervejarias;
- redução do consumo de energia (aquecimento, resfriamento, etc.), trabalhos de limpeza e custos no tratamento dos efluentes;
- incremento da estabilidade física e do sabor da cerveja;
- produção de maior teor de álcool por unidade de extrato fermentado, devido à redução da multiplicação da levedura, pelo fato que mais açúcares são convertidos em álcool;
- os mostos de altas densidades podem conter maior proporção de adjuntos;

- as cervejas produzidas com mostos de alta densidade são frequentemente mais suaves no sabor;
- a cerveja concentrada oferece maior flexibilidade em tipos de produtos. A partir de um líquido “mãe”, um maior número de tipo de cervejas pode ser elaborado como resultado da diluição e/ou o uso de extratos de lúpulo e xaropes.

As desvantagens do processo podem ser resumidas em:

- obter os macerados mais concentrados (incremento da relação carboidratos/água), causa o decréscimo da eficiência na utilização dos materiais na sala de cozimento (malte e adjuntos) e reduz a utilização do lúpulo. Este problema é resolvido com o uso de filtro de macerado e/ou utilização de xaropes na tina de fervura;
- a cerveja concentrada exerce um efeito maior sobre a formação de ésteres na fermentação;
- a elaboração de cerveja a partir de mostos de alta densidade pode influenciar o rendimento da levedura, com efeitos negativos sobre a fermentação e floculação;
- o incremento da pressão osmótica do meio, a elevada concentração de álcool e a modificação do balanço nutricional, tem uma profunda influência sobre o rendimento da levedura durante a fermentação de mostos de alta densidade. A tolerância ao estresse durante a fermentação do mosto pela levedura cervejeira é dependente da estirpe.

2.2 Matérias primas

2.2.1 Água

A água, em termos de quantidade, é o material mais importante da cerveja. A composição química e biológica da água, tem uma relevância significativa na produção de cerveja, e não há qualquer etapa no processo de fabricação de

cerveja, que não seja influenciada pelos constituintes da água (KROTTENTHALER; GLAS, 2009).

Segundo Sanchez (2002) a qualidade da água utilizada nas cervejarias é de vital importância pois a água constitui de 90% a 96% da cerveja, e atualmente necessita-se de 3 a 8hL de água para produzir 1hL de cerveja. O autor diferencia a água da cervejaria em três tipos:

- água potável: para beber;
- água para serviços gerais: utilizada para gerar vapor; para torres de resfriamento; para pasteurizadores; para limpeza de equipamentos; para proteção contra incêndios; para refrigeração; outros.
- água para processamento: na elaboração do mosto cervejeiro; para lavagem do bagaço de malte na tina de filtração; limpeza de filtros, limpeza de tanques e tubulações; lavagem da levedura; para diluição de cerveja concentrada; etc.

Historicamente, diferentes regiões ficaram famosas pelos tipos particulares de suas cervejas e grande parte das diferenças entre os tipos de cervejas é influenciada pela composição das águas (BRIGGS e col., 2004). A Tabela 1 apresenta as características de águas utilizadas em algumas cervejarias famosas.

Tabela 1 - Análise de algumas águas de cervejarias famosas, (expressadas em mg/L).

Parâmetros	Pilsen	Burton-on-Trent		Munich		Dortmund	London	Wien ou Vienna	Melbourne
Sólidos totais	51	-	1226	536	273	984	320	984	25
Cálcio (Ca^{2+})	7,1	352	268	109	80	237	90	163	1,3
Magnésio (Mg^{2+})	3,4	24	62	21	19	26	4	68	0,8
Bicarbonatos (HCO_3^-)	14	320	-	171	-	174	-	243	-
Carbonatos (CO_3^{2-})	-	-	141	-	164	-	123	-	3,6
Sulfatos (SO_4^{2-})	4,8	820	638	7,9	5	318	58	216	0,9
Nitratos (NO_3^-)	tr.	18	61	53	3	46	3	tr.	0,2
Cloretos (Cl^-)	5,0	16	36	36	1	53	18	39	6,5
Sódio (Na^+)	-	-	30	-	1	-	24	-	4,5

tr -traços; - -não detectado

Fonte: Briggs et al., 2004.

Pode-se observar que a cerveja tipo Pilsen (cerveja *lager* clara) é elaborada com água muito suave e a cerveja tipo Burton é elaborada com água extremamente dura, muito rica em sulfato de cálcio.

Krottenthaler e Glas (2009) acreditam que o tratamento de água é em muitos casos necessário. Por exemplo se as cervejarias e indústrias de bebidas querem obter suas águas de processo a partir da rede pública e/ou a partir de seus próprios poços, o tratamento da água tem de ser abordado em dois aspectos:

- tratamento de água crua para torna-la potável segundo critérios legais.
- tratamento de água potável devido aos requisitos tecnológicos de cerveja.

Dentre os tratamentos empregados para a obtenção da água de processamento de uma cervejaria, se encontra a água para diluição de cervejas obtidas de mostos de alta densidade (SANCHEZ, 2002). Kunze (1999) fala da possibilidade de adicionar a água de diluição em diferentes etapas do processo cervejeiro. O autor descreve a possibilidade de diluir a cerveja depois da fermentação primária ou do processo geral de fermentação. Na primeira opção a desvantagem é a necessidade de grandes tanques de maturação, e na segunda, a desvantagem é a necessidade de se obter uma água de muito boa qualidade, e que tenha as seguintes características:

- composição química similar à da água utilizada para a elaboração da cerveja;
- estar resfriada a 1 °C;
- estar esterilizada com filtro esteril;
- estar completamente desaerada (à vácuo ou purga com CO₂);
- posuir a mesma concentração de CO₂ que a cerveja;
- ser misturada na transferência da cerveja.

Alem disso Kunze (1999) destaca que essas tecnologias requerem grandes padrões e equipamentos custosos, fato pelo qual sua implementação é justificada em cervejarias de grandes volumes de produção.

2.2.2 Malte

Segundo Freeman (2002) o malte de cevada é o principal ingrediente utilizado na elaboração de cerveja. O malte também é utilizado em destilarias na produção de uísques escoceses que é elaborado usando 100% de malte moído.

Na indústria de alimentos, o malte é utilizado em pequena proporção, para conferir sabor.

O grão de cevada (*Hordeum vulgare*), segundo Kreisz (2009), tem uma estrutura complexa. A cevada para a fabricação de cerveja contém fundamentalmente amido, proteína, polissacarídeos e pequenas quantidades de gordura e minerais.

O malte utilizado em cervejarias é obtido de cevada, cereal de cultivo muito antigo, utilizado em culturas neolíticas no Egito, entre 6000 e 5000 A. C. (ALMEIDA e SILVA, 2005). A cevada é uma gramínea pertencente ao gênero *Hordeum*, cujos grãos na espiga, alinhados em duas ou seis fileiras, são envoltos por diversas camadas celulósicas, sendo a primeira camada, em conjunto denominado de casca, não eliminadas no beneficiamento e que posteriormente desempenham um papel importante na técnica cervejeira.

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre a composição média do grão de cevada com a do grão de cevada depois da malteação.

Tabela 2 - Comparação entre grão de cevada e malte

Características	Cevada	Malte
Massa do grão (mg)	32 - 36	29 - 33
Umidade (%)	10 - 14	4 - 6
Amido (%)	55 - 60	50 - 55
Açúcares (%)	0,5 - 1,0	8 - 10
Nitrogênio total (%)	1,8 - 2,3	1,8 - 2,3
Nitrogênio solúvel (% de N total)	10 - 12	35 - 50
Poder diastásico (°Lintner)	50 - 60	100 - 250
α -amilase (unidades de dextrina)	traços	30 - 60
Atividade proteolítica	traços	15 - 30

Fonte: Cereda, (1985); Almeida e Silva, (2005).

De acordo com Martínez et al. (2011) o malte de cevada é a principal matéria-prima no processo de elaboração de cerveja devido ao fato de aportar

componentes ao mosto cervejeiro e de influenciar no sabor do produto terminado. Kreisz (2009) aponta que a qualidade do malte tem grande influência na qualidade da cerveja, assim como em diferentes etapas do processo: filtração do mosto e da cerveja, e também na fase de fermentação, bem como nas características da cerveja como o sabor, a cor, a espuma e a estabilidade.

Briggs et al. (2004) relatam que a bebida obtida quando são utilizados xaropes na elaboração da cerveja, pode-se ajustar a cor com outros açúcares ou corante caramelo. Outra forma de ajustar a cor é a utilização de maltes especiais que conferem maior intensidade de cor ao mosto cervejeiro. O malte tipo Pilsen, o mais utilizado no mundo, tem entre 2,5 e 3,5 graus EBC de cor. A Tabela 3 resume as características de um grupo de maltes especiais, segundo Kunze (1999).

Tabela 3 - Características de maltes especiais quanto à intensidade de cor e temperatura de preparação.

Maltes	Temperatura máxima na malteação (°C)	Cor (EBC)
Malte Munich	100 - 105	15 – 25
Malte Vienna	90	5,5 – 6,0
Maltes Caramelados:		
Carapils®	60 – 80	3 - 5
Caramelo claro	100 - 105	25 – 30
Caramelo escuro	150 - 180	80 - 150
Malte tostado	175 - 200	1300 - 2500

Fonte: Kunze, (1999).

2.2.3 Adjuntos

Segundo Briggs et al. (2004) os adjuntos são matérias-primas diferentes do malte que fornecem extrato ao mosto cervejeiro. Além disso, os adjuntos são utilizados para repor as perdas do extrato de malte, aumentando o rendimento do mosto cervejeiro, e alguns adjuntos providenciam características sensoriais desejadas ao produto.

Meussdoerffer e Zarnkow (2009) destacam que o emprego de materiais diferentes do malte na produção de cerveja, é devido principalmente a essas três razões:

- preço favorável, a disponibilidade em áreas onde não se cultive o malte, e aporte de características diferentes de cor e sabor, o que pode ajudar na elaboração de cervejas especiais.

Coforme Bradee et al. (2002) os adjuntos mais usados são derivados de grãos de cereais: milho, arroz, trigo, cevada, sorgo. Dragone e Almeida e Silva (2010) destacam outros adjuntos não convencionais como arroz preto, banana, pupunha, pinhão e caldo de cana. Na atualidade são utilizados adjuntos que já foram pré-processados antes de adquiridos pela cervejaria. Além disso, o adjunto é escolhido segundo o tipo de cerveja a ser elaborada, a disponibilidade do adjunto, e os equipamentos disponíveis na cervejaria.

De acordo com Meussdoerffer; Zarnkow (2009), os adjuntos usados nas cervejarias podem ser de varias formas. Bradee et al. (2002), e Briggs et al. (2004) os separam segundo a etapa onde são adicionados ao processo cervejeiro em:

- adjuntos adicionados na tina de mosturação: são aqueles derivados de cereais, fundamentalmente milho e arroz, mas que têm de ser hidrolisados no processo de mosturação.
- adjuntos adicionados na tina de fervura, são geralmente xaropes, sendo o milho o cereal mais utilizado na fabricação destes adjuntos. Os xaropes são adquiridos, pela cervejaria já hidrolisados, e ai a possibilidade de sua adição numa etapa mais avançada do processo.

Segundo Briggs et al. (2009) a adição de açúcar solúvel ou xarope no mosto cervejeiro, incrementa a capacidade da sala de cozimento, ajusta a concentração de açúcares fermentescíveis do mosto e origina um método simples para gerar mostos de alta densidade. A Tabela 4 apresenta as características de alguns adjuntos na forma de açúcar e de xarope.

Tabela 4 - Características de adjuntos cervejeiros ricos em açúcares, encontrados na forma cristalina e xaropes.

Tipos	Nitrogênio Total (%) m/m	Cor solução 10% m/v (Unidades EBC)	Fermentesc íveis (%)	Densidade específica (20 °C)
Tipos de açúcares				
Xarope de açúcar refinado de cana	0,01	3	95+	1,33
Açúcar líquido invertido	0,01	3 - 12	95+	1,43
Açúcares misturados	0,01	3 - 12	95+	1,42
Xarope cervejeiro de amido de milho hidrolisado	0,02	Cor baixa deve se ajustar	77 - 78	1,42
Glicose de confeitiro	<0,01	Cor baixa	30 - 50	1,43
Açúcar líquido cervejeiro	0,02	Cor baixa deve se ajustar	86 – 87	-
Chips de glicose	0,01	20 - 50	82	-
Outros materiais				
Xaropes baseados em cereais	0,4 – 0,8	4	65 - 70	1,40
Extrato de malte	0,65 – 1,3	4	70	1,40
Corante caramelo 46,000	-	4600	-	1,29
Corante caramelo 32,000	-	3200	-	1,36

Fonte: Briggs et al, (2004).

2.2.4 Xarope de milho

A legislação brasileira permite que parte do malte na elaboração de cerveja, pode ser substituída por cereais maltados ou não como milho, arroz, trigo, centeio, aveia e sorgo e também por carboidratos de origem vegetal transformado ou não (DRAGONE; ALMEIDA E SILVA, 2010). Análises feitas em cervejas reconhecidas do mercado sugerem que na produção de essas marcas estão no limite da porcentagem permitida de milho, como matéria-prima na produção de cerveja. A legislação nacional limita em 45%, mas a fonte aponta que em alguns casos foram ultrapassados provavelmente devido à forma de utiliza-lo, como é o caso do xarope (CIENCIA, 2013).

Segundo Coors (1975) para alcançar altos níveis de etanol na cerveja, geralmente são adicionados adjuntos na forma concentrada. Kunze (1999) relata que o xarope de milho é elaborado com o milho moído e o amido obtido é hidrolisado a açúcares. Os processos de hidrolises usados podem ser via ácida, enzimática, ou uma combinação deles. Bradee et al. (2002), classificam que os xaropes de milho pela sua equivalência em dextrose (EDX) ao seu perfil de carboidratos. O EDX é um indicador da porcentagem dos açúcares presentes em base de sólidos secos que são açúcares redutores medidos como dextrose. A Tabela 5 apresenta as características de alguns xaropes de milho presentes no mercado.

Pode-se observar na referida tabela a porcentagem de fermentescíveis dos diversos xaropes de milho encontrados no mercado, que poderão ser selecionados de acordo com o tipo de cerveja a ser elaborada.

Tabela 5 - Características dos xaropes de milho comerciais.

PRODUTO	28/41	43/41	43% HM	55% HM	53/44	60/44	63/44	95% DEX	99% DEX	ALTA FRUCT
Forma de obtenção	A	A/E	A/E	E/E	A/E	A/E	A/E	E/E	E/E	E/E
Equival. em dextrose (EDX)	28	43	43	43	53	60	63	98	99+	95+
Grau Baumé	42.2	43	43	43	44	44	44	37	37	37
% Sólidos totais	78.4	80.7	80.9	81	84.5	84.6	85	71	71	71
Comp. de Carboidratos										
Glicose %	8	19	9	3	24	31	36	95	99	94
Maltose %	8	14	43	56	31	36	31	3	0.6	3
Maltriotose %	11	12	18	19	20	10	13	0.5	0.2	X
Polissacarídeos %	73	55	30	22	25	23	20	1.5	0.1	3
Extrato Fermentável **	27	45	70	78	75	77	79	98+	99+	97+
Viscosidade Centipoise a 38°C	40,0	24,0	11,5	7,0	32,0	22,0	20,0	X	X	95,0

A - Ácido, E- Enzima, ** % base sólida.

Fonte: Bradee et al., (2002) e folha técnica de Produtos Cargill.

Bradee et al. (2002) apresentam na Tabela 6 as aplicações de alguns adjuntos, de acordo com o tipo de cerveja a elaborar.

Tabela 6 - Aplicações de adjuntos de acordo com os tipos de cervejas.

TIPO DE CERVEJA	ADJUNTO
ENCORPADA	XAROPE DE 53 A 65 % DE DEXTROSE. ALTA MALTOSE, AÇÚCARES REFINADOS
LEVE/DE BAIXAS CALORIAS	95% A 99% DEXTROSE E AÇÚCARES REFINADOS
BAIXO/SEM ÁLCOOL	XAROPES DE 20 A 36 % DE DEXTROSE.
CERVEJAS ESPECIAIS	QUALQUER DOS ANTERIORES

Fonte: Bradee et al., (2002).

2.2.5 Lúpulo

Na época Medieval a cerveja era produzida sem lúpulo, e rapidamente acidificava e virava vinagre de malte. Muitas ervas foram utilizadas na tentativa de prolongar a vida útil de prateleira da cerveja, mas apenas o lúpulo (*Humulus lupulus*) é utilizado em grande escala nas cervejarias, embora algumas microcervejarias utilizem outras ervas (BRIGSS et al, 2004). Segundo Barth, Klink e Schmidt (1994) o lúpulo é cultivado, apenas para satisfazer as exigências da indústria de cerveja. Briggs et al. (2004) relatam que no início, o lúpulo era comercializado na forma de cones secos da planta feminina, mas hoje a maior parte do lúpulo é obtido em pellets ou extratos. Apesar do lúpulo provavelmente ter sido usado primeiramente devido ao valor de conservação, eles proporcionaram também o amargor e um sabor agradável, muito apreciado, e provavelmente esta é a razão para que seu uso tenha sido continuado. A Tabela 7 apresenta a composição química do lúpulo em flor.

Almeida e Silva (2005) destaca como as substâncias mais importantes os óleos essenciais, as resinas amargas, os polifenóis e as substâncias minerais. O autor comenta que apesar de serem altamente voláteis, ocorrendo perdas de 96 a 98% no decorrer do processo cervejeiro, os óleos essenciais conferem ao mosto e à cerveja o caráter aromático do lúpulo. Os polifenóis são ricos em substâncias

tânicas, protetoras da cerveja. As resinas brandas do lúpulo, representadas pelos α -ácidos ou pelas humulonas que após isomerização, tornam-se solúveis e responsáveis pelo amargor. Krottenthaler, Back e Zarnkow (2009) destacam que em 2005, o lúpulo era cultivado em mais de 50 países, mas o cultivo vem sendo reduzido devido à preferência geral, para a diminuição do amargor nas cervejas.

Tabela 7 - Composição química do lúpulo em flor.

Características	Porcentagem (%)
Resinas amargas totais	12 – 22
Proteínas	13 – 18
Celulose	10 – 17
Polifenóis	4 – 14
Umidade	10 – 12
Sais minerais	7 – 10
Açúcares	2 – 4
Lipídeos	2,3 – 3,0
Óleos essenciais	0,5 – 2,0
Aminoácidos	0,1 – 0,2

Fonte: Almeida e Silva, (2005).

O nível de amargor da cerveja é medido em unidades internacionais de amargor (IBU, Bitterness Units). Muitas vezes, para simplificar se menciona simplesmente como BU. O IBU é uma medida de concentração de iso- α -ácidos em partes por milhão, ou seja um miligrama de iso- α -ácidos por litro de cerveja (CERVEZA..., 2013). A fonte comenta alguns dos fatos que influenciam uma boa extração do lúpulo:

- O tempo e a força da fervura. Quanto maior o tempo e a força, maior a possibilidade de transformar os α -ácidos em iso- α -ácidos;
- A forma de lúpulo utilizada. Podem ser utilizados pellets ou cones inteiros secos. É mais fácil extrair os α -ácidos dos pellets porque se decompõem mais rapidamente.
- A densidade do mosto na tina de fervura. Quanto mais elevada a densidade do mosto, menor será a extração dos compostos do lúpulo.

- Quantidade de lúpulo a utilizar. Quanto maior é a quantidade de lúpulo colocada na fervura, menor será a transformação dos α -ácidos.

Conforme Čepička (1970) e Almeida e Silva (2005) na elaboração de mosto de alta densidade podem ocorrer perdas de substâncias amargas durante a fervura quando comparada com mostos de concentrações habituais. Hudson (1965) confirmou que a diminuição do amargor em cervejas concentradas, pela menor utilização das substâncias amargas, pode ser explicada pela maior formação de seus complexos com proteínas. O incremento da concentração do mosto implica em menor utilização do lúpulo. O dobro da quantidade de lúpulo seguido da subsequente diluição, não se torna efetivo, já que o fato de dobrar as substâncias do lúpulo não dobra a concentração destas na cerveja.

Palnier e Rennie (1974) recomendaram que para evitar perdas elevadas das substâncias amargas na elaboração da cerveja obtida de mosto de alta densidade, deve-se manter a adição do lúpulo na quantidade usada para mostos de densidade normal e fazer um ajuste final do amargor, com extrato de lúpulo isomerizado, no momento da diluição da cerveja.

Segundo Mitter e Cocuzza (2009) os cervejeiros que utilizam apenas lúpulo em folhas ou péletes tem opções limitadas para corrigir a bebida, principalmente diante de colheitas ruins. Uma opção para reagir neste caso diante da escassez de lúpulo é a utilização de lúpulo isomerizado. Grant (2002) descreve que os α -ácidos podem ser isomerizados com catalisadores ou álcalis para obter uma solução pura de iso- α -ácidos que tem um rendimento maior do que o obtido na tina de fervura. Estes materiais quando adicionados na cerveja mesmo fria, produzem concentrações normais de amargor.

2.2.6 Levedura

Ao longo dos anos, a classificação taxonômica e nomes de levedura de cerveja mudaram várias vezes. A levedura de cerveja pertence ao grupo de *Saccharomyces cerevisiae*, no entanto, as estirpes diferem acentuadamente de laboratório para laboratório, e das espécies não cervejeiras, devido à seleção ao longo dos séculos e com as condições específicas das cervejarias (DEÁK, 2008).

Dowhanick (2002) relata que uma boa levedura cervejeira deve apresentar as seguintes condições ideais:

- ser geneticamente estável durante vários ciclos contínuos;
- ser capaz de fermentar mostos num período aceitável, e obter níveis de etanol entre 4 e 12%;
- ser capaz de manter um meio de fermentação livre de quantidades de metabólitos indesejáveis responsáveis por sabores de enxofre, fenólicos ou de alcoóis amílicos;
- ser facilmente removida do meio de fermentação por floculação, centrifugação;
- ser suficientemente viável, e depois da recuperação possa ser re-inoculada no mosto, apresentando um mínimo de autólise e um máximo de confiança.

De acordo com Harrison e Schaechter (2009) as leveduras cervejeiras podem se classificar em leveduras de alta e de baixa fermentação. Deák (2008) apresenta as diferenças entre as leveduras de alta (*Ale*) e de baixa (*Lager*) (Tabela 8).

Tabela 8 - Diferenças entre as leveduras cervejeiras *Lager* e *Ale*.

Características	Estirpe <i>Lager</i>	Estirpe <i>Ale</i>
Tipo de fermentação	Baixa	Alta
Floculação	Boa	Menos eficiente
Temperatura de fermentação	Abaixo de 15°C	Acima de 15°C
Máxima temperatura de crescimento	32 - 34°C	38 - 40°C
Utilização de maltotriose	Mais completa	Menos eficiente
Utilização de melibiose	Sim	Não
Volatilização de compostos sulfurosos	Mais	Menos
Transporte de frutose	Simporte ativo de prótons	Difusão facilitada
Esporulação	Nenhum	1 - 10%

Fonte: Deák, (2008).

Segundo Avesukaree et al. (2009) a levedura *S. cerevisiae* tem sido amplamente utilizada na indústria. Durante a fermentação de mostos concentrados a levedura é exposta a uma serie de fatores que provocam

estresses, dentre eles a alta concentração de etanol, a alta pressão osmótica, fatores que diminuem o crescimento e a viabilidade celular. Os autores apontam que o maior estresse é causado pelo etanol, que inibe o crescimento e a viabilidade da levedura, e afeta o transporte de glicose e dos amino ácidos.

Abreu et al. (2004) descrevem que o mosto concentrado tem efeitos prejudiciais sobre o metabolismo das leveduras, com implicações diretas sobre a capacidade fermentativa e o crescimento. O processo de incremento da pressão osmótica resulta na diminuição ou no impedimento da difusão do álcool endógeno formado para a fora da célula, trazendo como consequência a autointoxicação da levedura. A levedura utilizada para fermentar mostos concentrados deve ser capaz de atenuar os carboidratos apropriadamente, flocular, clarificar e sedimentar quando for necessário, além de tolerar elevadas concentrações de álcool e produzir altos teores de etanol (≥ 12 % v/v). Além disso, os autores observaram que estudos realizados com fermentações de vinho alcançaram elevados graus alcoólicos, quando o mosto foi adicionado de açúcar na fase exponencial de crescimento da levedura, e assim puderam ser alcançados teores alcoólicos de até 16%. Nas mesmas condições, ou seja, de adição de açúcar, se observou que as leveduras cervejeiras são capazes de serem tolerantes em concentrações perto ou superior a 12% de etanol, embora o limite normal esteja ao redor de 8 a 9%.

Devantier, Pedersen e Olsson (2005) também observaram que elevadas concentrações de sacarídeos expõem a levedura ao estresse osmótico e ainda provocam a inibição pelo substrato.

Tao et al. (2014) afirmam que a fermentação de mostos super concentrados (VHG) é destinada a aumentar consideravelmente a taxa de fermentação e a concentração de etanol, reduzindo assim os custos de capital e o risco de contaminação bacteriana. Os autores falam da possibilidade de obter microrganismos geneticamente modificados para gerar elevadas concentrações de etanol no meio.

2.3 Fatores que influenciam na elaboração de cervejas concentradas

Vários fatores influenciam a fermentação de mostos para a produção de cerveja. Entre eles podem ser destacados: a composição e concentração do mosto, a temperatura de fermentação, o teor de oxigênio inicial, a concentração e viabilidade celular, e a concentração de etanol (ALMEIDA E SILVA, 2005).

2.3.1 Concentração do mosto e viabilidade celular

De acordo com Briggs et al. (2004) o mosto em parte é caracterizado pela concentração ou pela quantidade de sólidos (extrato) que estão em solução num volume de líquido.

Kunze (1999) nota que é possível produzir mostos concentrados e consequentemente obter cervejas concentradas, para posterior diluição depois da fermentação. Para obter mostos mais concentrados é preciso trabalhar com menor relação de água/malte, para que o primeiro extrato seja obtido mais concentrado.

Krottenthaler, Back e Zarnkow (2009) garantem que a filtração do mosto serve para separar os compostos do malte dissolvidos durante a mosturação, das partes insolúveis (bagaço). As tinas de filtração e filtros de macerado são equipamentos amplamente utilizados. Os autores citaram que a utilização de filtro de macerado é muito interessante para a obtenção de cervejas concentradas. Segundo O'rourke (2003), quando são utilizados filtros de macerado podem ser obtidos mostos com concentrações mais elevadas do que quando se trabalha com tina de filtração ($> 17^{\circ}\text{P}$).

Almeida e Silva (2005) relata que ao aumentar a concentração inicial do mosto, ocorrem efeitos na fermentação, tais como alta pressão osmótica e níveis elevados de etanol, resultando na perda de viabilidade celular da levedura e em fermentações mais lentas. O autor manifesta que as células de levedura *S. cerevisiae* usadas na preparação de cerveja tipo *Lager* quando na presença de elevadas concentrações de etanol, na fermentação de mosto de 25°P podem manifestar uma diminuição da viabilidade celular e do crescimento. Ao fermentar

mostos de 16°P a viabilidade celular se mantém ao redor dos 90% depois de 240h de fermentação. Quando se realiza a fermentação de mosto a 25°P a viabilidade resulta em valores inferiores a 40%. A concentração alcoólica, de um mosto de 16°P pode alcançar no máximo de 7% v/v depois de 48h de fermentação e não causa inibição no crescimento celular.

Ainda, de acordo com o autor, a tolerância ao estresse das leveduras cervejeiras, durante a fermentação do mosto com altas concentrações, depende da estirpe utilizada. Inoculando quatro estirpes tipo *lager* em mosto de 27°P, as diferenças na porcentagem da viabilidade celular ao final da fermentação foram de até 80% entre elas. Fermentação com estirpes de levedura *ale* e *lager* em mosto de 15 a 20°P tem mostrado que as leveduras *ale* são menos apropriada para a produção de cerveja super concentrada (com mosto a 20°P). No entanto, a estirpe tipo *lager* cumpriu os três critérios requeridos para ser satisfatoriamente utilizada neste tipo de fermentação, ou seja:

- produziu mais etanol em proporção ao aumento da concentração do mosto;
- apresentou viabilidade celular aceitável após repetidas inoculações;
- a cerveja diluída apresentou sabor igual ao do produto usado para comparação.

2.3.2 Composição do mosto cervejeiro

A composição do mosto determina as propriedades da cerveja como produto acabado. O mosto tem de conter a quantidade adequada de açúcares fermentescíveis e nutrientes para a levedura e precursores do sabor (MEILGAARD, 2002). O mosto preparado é analisado para ter certeza de que a cerveja vai ter o extrato desejado, quanto à cor, ao sabor e espuma. A Tabela 9 apresenta os parâmetros que são comumente analisados.

Tabela 9 - Parâmetros comumente analisados nos mostos cervejeiros.

	Média	Faixa
Extrato Original (°P)	11.4	11.2 – 12.0
Extrato Aparente depois da Fermentação rápida, (°P)	2.4	1.8 – 3.0
Reação ao iodo	neg.	neg.
pH (20°C)	5.3	5.0 – 6.0
Cor, °SRM	3.9	3.0 – 5.3
Unidades de Amargor	24	15 – 30
Proteína Total, % em peso (N x 6.25)	0.43	0.30 – 0.60
Nitrogênio Anínico Livre (FAN, Método Internacional), mg/L	150	130 – 250
Nitrogênio, mg/L	300	250 – 500
Turbidez, FTU	20	10 – 50
Turbidez, Unidades Coleman Nephelos	60	30 – 150

Fonte: Meilgaard, (2002).

A tabela esta baseada em um mosto de 11 a 12°P, e o autor destaca que para os casos de cerveja concentrada (obtidas de mostos entre 14 e 20°P) todos os parâmetros devem ser incrementados proporcionalmente, exceto o pH e a reação ao iodo.

Conforme Madigan et al.(2010) todas as células necessitam de fonte de carbono para sua nutrição. Após o carbono, o elemento mais abundante nas células é o nitrogênio. Briggs (2004) relata que a utilização de adjuntos pode diluir o nível de nitrogênio solúvel, polifenóis e taninos no mosto cervejeiro. Coors (1975) e Meilgaard (2002) descrevem que os adjuntos geralmente conferem pouco ou nenhum nitrogênio ao mosto, resultando na diminuição destas substâncias nutritivas disponíveis no malte.

Segundo Kunze (1999) a quantidade de amino ácidos no mosto de dupla concentração é ao redor do dobro da quantidade disponível no mosto normal, sua utilização não excede a usual, mas este excesso de aminoácidos se mantém na cerveja depois da fermentação. Por isso é possível usar relativamente mais adjunto na preparação de mosto concentrado, valores acima de 50% sem exercer efeito significativo no tempo de fermentação. A levedura utiliza os compostos nitrogenados do mosto para sintetizar suas substâncias celulares. Em média a levedura utiliza de 10 a 14mg de nitrogênio amínico na forma de aminoácidos e pequenos peptídeos por 100 mL de mosto.

Conforme Haukeli e Lie (1974) é possível julgar a correta composição do pela relação entre açúcares fermentescíveis e nitrogênio assimilável. Basařová (1985) encontrou para as cervejas checas as seguintes relações ótimas:

$$\frac{\text{açúcares fermentáveis}}{\text{Nitrogênio total}} = 70 - 75$$

$$\frac{\text{açúcares fermentáveis}}{\text{Nitrogênio amínico}} = 340 - 350$$

Bradee et al. (2002) revelam que quando é utilizado xarope de milho como adjunto na preparação da cerveja, as perspectivas dos cervejeiros, como um dos aspectos mais importantes, é seu poder de fermentação que é determinado pela composição dos carboidratos. De acordo com os autores a quantidade de açúcares fermentescíveis, do xarope de milho utilizado na cerveja, poderá afetar a proporção entre açúcares fermentescíveis e nitrogênio amínico do mosto. Quando são utilizados adjuntos que aportam grandes porcentagens de fermentescíveis ao mosto e em grandes proporções, origina-se um acentuado desvio da composição clássica do mosto, ocasionando efeitos negativos por causa do incremento desproporcional dos açúcares fermentescíveis e a diminuição sensível do nitrogênio assimilável pela levedura.

2.3.4 Suplementação do mosto

Para fermentar mostos super concentrados é importante a presença de aminoácidos no meio, para boa nutrição da levedura. Nenhuma fermentação acontece sem crescimento da biomassa de levedura e o microrganismo não cresce na ausência de material nitrogenado assimilável (CARRILLO, R. D; CARRILLO, R; MARTÍNEZ, 2011 e LEWIS; BAMFOSTH, 2006).

Kolothmannil, Thomas e Ingledew (2013) confirmam que para fermentar mostos super concentrados são necessárias modificações, fundamentalmente no processo de mosturação no qual são liberados os nutrientes necessários para o crescimento do fermento. Um estudo preliminar demonstrou que em mosturação de trigo, apenas o nitrogênio assimilável é limitante. Os autores destacaram a

importância de obter nitrogênio amínico livre (FAN) e da relação deste composto com a capacidade de fermentação da levedura.

Segundo Meilgaard (2002) a nutrição da levedura é afetada quando a concentração de FAN do mosto é menor que 150 ppm. Há informações de fermentações sem problemas, com concentrações de 120 ppm mas este seria um teor limite. Quando são utilizados adjuntos em grandes proporções, a concentração de FAN fica menor e podem ocorrer problemas na nutrição da levedura, por isso uma opção poderia ser suplementar o mosto para evitar esses inconvenientes.

Almeida e Silva (2005) descreve que a deficiência nutricional é um fator limitante da produção de cerveja com elevadas porcentagens de etanol. Com uma suplementação nutricional apropriada algumas estirpes de leveduras cervejeiras podem produzir até 16,2% v/v de etanol em fermentações descontínuas a 14°C utilizando mostos com 31°P. Para que a levedura cervejeira produza atinja esse teor de etanol em tempos menores de fermentação, o mosto deve conter dois tipos de suplementos nutricionais: 1% de extrato de levedura como fonte de nitrogênio e uma mistura de ergosterol e ácido graxo insaturado, complementados com uma fração de ácido oleico do Tween 80.

Casey e Magnus (1984) afirmam que o FAN é o fator principal da nutrição da levedura sempre que tenha suficiente lipídeos disponíveis. Usando técnicas de suplementação com este nutriente, foi possível produzir cervejas com 16,2% v/v de álcool, sem perda de viabilidade da levedura.

A composição do meio exerce grande influência sobre a capacidade da levedura em fermentar substratos concentrados. A suplementação do meio com extrato de levedura, peptona e sais de magnésio ou potássio apresentou efeito positivo sobre a velocidade de fermentação global (ALMEIDA e SILVA, 2005).

As fermentações executadas num meio quimicamente definido de 35°P com levedura tipo *lager* a 20°C, e a adição de nutrientes tais como triptona, extrato de levedura e uma mistura de bases de purinas e pirimidinas, aumentou a demanda de glicose e a produção de etanol, mas não permitiu manter altos valores de viabilidade celular. A concentração de nutrientes limitantes do crescimento em mostos concentrados deve ser aumentada em proporção à concentração específica de açúcares do mosto utilizado (ALMEIDA e SILVA, 2005).

Carrillo, R. D; Carrillo, R. e Martínez (2011), trabalharam com a adição de 3,4 Unidades Anson (U.A.) de papaína para cada 100g de malte, no processo de mosturação. Os autores reportaram que a concentração de FAN foi suficiente para manter boa velocidade de fermentação, e a cerveja apresentou concentração de etanol de 14,33% v/v, com máxima de eficiência no aproveitamento dos açúcares fermentescíveis.

2.3.5 Temperatura de fermentação

Para o controle da fermentação e da maturação da cerveja, é importante controlar a temperatura (EßLINGER, 2009). A temperatura tem grande importância em:

- influenciar a velocidade e o tempo de fermentação, a concentração de subprodutos da fermentação e a pressão de CO₂ na parte superior do fermentador.

A influência da temperatura nas fermentações de mostos com alta concentração inicial de substrato está relacionada com a tolerância ao etanol. Mostos com alta concentração (27°P) obtidos com a adição de xarope de milho, suplementados com nutrientes e fermentados a 14, 20, 25 e 30°C, mostraram que a velocidade de fermentação acompanhou o aumento da temperatura. Por outro lado, a viabilidade celular após o quinto dia apresentou resultados extremamente baixos em mostos fermentados em altas temperaturas, apesar dos teóres de etanol terem sido similares no final da fermentação. O autor confirma que o efeito inibitório do etanol em altas temperaturas tem sido atribuída ao aumento no acúmulo de etanol intracelular em temperaturas mais elevadas (ALMEIDA e SILVA, 2005).

Carrillo, R. D; Carrillo, R. e Martínez (2011) fermentaram mostos super concentrados de extrato a uma temperatura de 10°C, e obtiveram concentrações 108,4; 113,3; 114,2; 114,7; 115,2g/L de etanol nas cervejas.

2.3.6 Suplementação de oxigênio ao mosto

Segundo Eßlinger (2009) além da concentração de células de levedura, uma fermentação satisfatória depende do fornecimento eficiente de oxigênio às células. Isto é feito por arejamento do mosto com ar estéril ou, excepcionalmente, com oxigênio. Com uma distribuição intensiva de pequenas bolhas de ar, o que pode ser feito em vários equipamentos como pedras porosas, tubos venturi, bocais especiais ou misturadores estáticos, pode-se obter uma boa concentração de oxigênio no mosto. O autor confirma que a concentração de 8 - 10mg de O₂ por litro de mosto é considerada uma proporção ótima.

Conforme Almeida e Silva (2005) o valor de oxigenação do mosto tem mostrado importante papel no desempenho da levedura, especialmente em mostos de altas concentrações de açúcares. A reutilização da levedura em condições com deficiência de oxigênio acarreta efeitos nocivos no desempenho da fermentação. Quando a levedura cervejeira é sucessivamente reinoculada em mostos oxigenados com concentração de 20°P, esses efeitos nocivos são minimizados.

2.3.7 Concentração celular inicial

A concentração do inóculo em fermentações com altas concentrações de açúcares (25°P), obtidos pela adição de xarope de milho, também pode acarretar algumas alterações. Geralmente, com o aumento da concentração do inóculo, as fermentações completam-se mais rapidamente; por exemplo, quando se elevou de $1,5 \times 10^7$ para $3,5 \times 10^7$ cel/mL, diminuiu o tempo de atenuação limite do mosto. O aumento da concentração de inóculo para aumentar a velocidade da fermentação pode ser benéfico, principalmente quando não é permitida pela lei a suplementação do mosto com nutrientes estimulantes do crescimento da levedura (ALMEIDA e SILVA, 2005).

Em pesquisas realizadas com cerveja super concentrada Carrillo, R. D; Carrillo, R. e Martínez (2011) calcularam a relação de açúcares

fermentescíveis/inóculo, e utilizaram maiores concentrações de inóculo quando se trabalhou com maior concentração de fermentescíveis.

2.4 Utilização de enzimas exógenas

Whitaker (2014) confirma que as enzimas são muitas vezes consideradas prejudiciais pela indústria de processamento de alimentos, e precisam ser destruídas geralmente por tratamento térmico. O efeito negativo das enzimas se baseia nas alterações indesejáveis na textura, cor, sabor, aroma e as características nutricionais que podem ocorrer na colheita e armazenamento de alguns alimentos. No entanto, a utilização de enzimas na fabricação de cerveja, na elaboração do queijo e no amaciamento da carne, são bem conhecidos, tendo sido utilizado há muitos anos.

Segundo Cherry e Fidantsef (2014) a utilização de enzimas em processos industriais pode muitas vezes evitar o emprego de altas temperaturas, solventes orgânicos e extremos de pH, enquanto que, ao mesmo tempo proporcionam o aumento da especificidade da reação, a pureza do produto e reduz o impacto ambiental. O crescente uso de enzimas industriais é dependente de constante inovação para melhorar o desempenho e reduzir custos de produção. A fonte confirma que a utilização de enzimas industriais é um dos maiores impactos da biotecnologia moderna, que cobrem 50 aplicações em mais de 500 produtos, desde a fabricação de detergentes até a elaboração de cerveja são usadas enzimas obtidas em escala industrial produzidas por microrganismos. Ainda segundo os autores o mercado de enzima industrial mundial estimado em 2000, foi avaliado em cerca de 1,5 bilhões de dólares e é tradicionalmente dividido em três segmentos:

- O maior deles, corresponde a 65% das vendas, é a de enzimas técnicas e incluem enzimas utilizadas nas indústrias de detergentes, de amido, têxteis, couro, papel e celulose, e de cuidados pessoais;
- as enzimas alimentares, o segundo maior segmento com 25% do mercado, inclui enzimas empregadas nos produtos lácteos, fabricação de cerveja, vinho e suco, gorduras e óleos, e as indústrias de panificação;

- as enzimas para a alimentação animal, que compreende as enzimas utilizadas em rações para animais, contribuem com cerca de 10% do mercado.

2.4.1 Papaína

Papaína é uma enzima alcaloide com ação proteolítica obtida do látex do mamão (*Carica papaya*). A enzima possui amplo espectro de especificidade, para os peptídeos, as amidas, os ésteres e tioésteres, que são todos susceptíveis à hidrólise catalítica da papaína (PAPAÍNA, 2014).

Segundo Limona e Yomo (2014) a cerveja, depois de pronta, pode formar uma névoa de origem não biológica causando turvação no produto, que diminui o seu valor comercial. Os autores confirmam que para evitar isso são utilizados antioxidantes como ácido ascórbico e proteases como a papaína.

Carrillo e López (2014) pesquisaram a utilização de papaína na mosturação de malte para elaborar cerveja. A cerveja estudada correspondeu a uma proporção de 50% de malte e 50% de açúcar refinado de cana. Os autores conseguiram duplicar a concentração de FAN no mosto cervejeiro e a cerveja obtida apresentou melhores características sensoriais e de espuma que a cerveja que eles elaboraram como padrão na pesquisa.

Carrillo, R. D; Carrillo, R. e Martínez (2011) experimentaram um processo de elaboração de cerveja super concentrada com a utilização de sacarose como adjunto e adição de papaína na mosturação. Segundo os autores o processo incrementou a hidrólise das proteínas do malte e compensou a diluição dos compostos nitrogenados provocado pela adição da sacarose.

2.4.2 Termamyl

Fontes confirmam que é possível a obtenção de α -amilase termoestável procedente de fermentações com estirpes de *Bacillus licheniformis* não patogênicas. Estas enzimas são adequadas para hidrólise de amido conduzida em temperaturas elevadas, por exemplo, para a liquefação de amido para a

produção de adoçantes, assim como na produção de bebidas alcoólicas dentre elas a cerveja. A enzima é subsequentemente purificada, concentrada, e formulada às características desejadas pelo fabricante (FAO, 2014).

A Termamyl 120 L é uma endoamilase que hidrolisa ligações 1,4 - alfa-glucosídicas, em dextrinas solúveis e oligossacarídeos, obtida por fermentação com uma estirpe geneticamente modificada de *Bacillus licheniformis*. A fonte ressalta as condições desta enzima para trabalhar em temperaturas elevadas, ampla faixa de pH e baixa concentração de cálcio no meio. Na indústria de amido, a Termamyl é usada para liquefação contínua de amido em equipamentos que operam em temperaturas de até 105-110°C, demonstrando sua capacidade para agir em temperaturas altas. Na indústria do álcool de cereais, a enzima é utilizada para a hidrólise do amido em um meio com baixa concentração de cálcio, o que evita depois, possível problema de incrustação na coluna de destilação. Na elaboração de cerveja, a Termamyl é usada para liquefação de adjuntos. Devido à estabilidade ao calor extremo da enzima, o programa de mosturação pode ser simplificado, com a possibilidade de aumentar a proporção de adjuntos no processo (SIGMA, 2014).

Bajomo e Young (2014) na preparação de mostos para a elaboração de cerveja utilizaram uma enzima α -amilase termoestável. Os autores destacaram que no processo foi utilizado sorgo como adjunto, que foi gelatinizado a 100°C durante 30-40 minutos na presença de α -amilase termoestável.

Chen (2014) trabalhou mostos de 12°P para cervejas, utilizando malte de segunda qualidade e 40% de arroz como adjunto. O autor utilizou Termamyl na mosturação obtendo um grau real de fermentação de até 72,1% e diminuiu o consumo específico de cereais na produção de cerveja.

2.5 Processos para a produção de cervejas concentradas

Conforme Palnier e Rennie (1974) em várias partes do mundo é aceita a prática de fermentar mostos de elevado peso específico e depois diluir as cervejas até o peso específico adequado para a venda. Esta prática obviamente incrementa a capacidade de produção.

O objetivo de elaborar cervejas concentradas é ampliar a utilização dos reatores de fermentação e dos tanques de maturação. Em alguns casos também é ampliar a utilização dos filtros de cerveja e a sala de cozimentos. Sobre esta tecnologia, (HAWKING, 1975) informou que a fabricação de cervejas obtidas de mosto de alta densidade pode incrementar grandemente a produtividade das cervejarias existentes e reduzir os custos de operação. A importância deste processo está em adicionar água à cerveja concentrada, no ponto mais tardio possível.

SHAUS (1971) faz referência a cervejas elaboradas a partir de mostos de dupla concentração de 22 a 28°Brix destacando os benefícios do ponto de vista energético deste processo. Por exemplo, o sistema de enriquecimento do mosto empregando na tina de mosturação usa água de lavagem do bagaço de malte do cozimento anterior.

Davies, Dickersson e Smith (1987) argumentaram sobre uma pesquisa de tecnologia para obter cerveja concentrada denominada Phillips Fractional Crystallization Process. Esta tecnologia foi desenvolvida pelo consorcio Phillips Petroleum Co, que para a diminuição do conteúdo de água utiliza um processo de cristalização fracionada, aplicando frio na cerveja. Segundo as referências, de 19 marcas de cervejas de grandes cervejarias, foram elaboradas ao redor de 77 cervejas concentradas e as cervejas reconstituídas foram submetidas à prova de degustação por especialistas destas cervejarias. As diferenças de sabor foram pequenas e alguns degustadores apreciaram que a cerveja reconstituída era cerveja original.

Segundo Wei, Wei Fan, e Yong (2008) uma nova tendência da indústria é a preparação de cervejas obtidas de mostos de ultra-alta concentração (UHG). Neste processo a levedura deve cumprir requisitos mais estritos de modo que a produção em escala industrial ainda não é feita. Estes pesquisadores chineses trabalham na seleção de leveduras que resistam a altos conteúdos alcoólicos e elevada pressão osmótica com o objetivo de executar este procedimento, e revelam a possibilidade do uso de microrganismos geneticamente modificados.

Tao et al. (2014) relatam que a fermentação de mostos super concentrados apresenta questões críticas, tais como fatores adversos de estresse (pressão osmótica e inibição pelo etanol) e altas concentrações de subprodutos metabólicos que são difíceis de evitar com um único método de produção. Os

autores desenvolveram uma pesquisa em que modificaram geneticamente leveduras *Saccharomyces cerevisiae* para melhorar o desempenho da produção de bioetanol na fermentação de mostos super concentrados. Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas: na primeira o gene que codifica a glicerol 3-fosfato desidrogenase foi eliminado, resultando em um mutante com um rendimento de glicerol inferior e baixa produtividade de etanol. Em segundo lugar, foram experimentados três genes de estirpes com alta tolerância à concentração de etanol, e avaliados seus desempenhos de fermentação em VHG, e escolhido o microrganismo com melhor desempenho.

Pham, Doan e Le (2008) avaliaram um processo de elaboração de cerveja super concentrada, em sistema contínuo com levedura *S.cerevisiae* imobilizada em gel de alginato de cálcio. As concentrações médias iniciais dos mostos foram ajustadas a 28°Brix e 41°Brix. O mosto original foi composto por 55% malte e 45% de xarope de maltose como adjunto, e foi estudada a suplementação de mistura de Tween 80 e ergosterol ao mosto. Os resultados indicaram que a adição de 0,3% v/v de Tween 80 e 24ppm de ergosterol ao mosto inicial melhorou o desempenho fermentativo da levedura imobilizada. Sob estas condições, o tempo de fermentação primária diminuiu em 24h e a concentração de etanol foi semelhante, em comparação com os resultados da cultura continua sem suplementação.

Carrillo, R. D; Carrillo, R. e Martínez (2011) desenvolveram um processo de elaboração de cerveja super concentrada com sacarose como adjunto. A Figura 2 apresenta o gráfico do método de mosturação com que foi elaborado o mosto puro de malte a 16°P de concentração. A 63°C, foi adicionada papaína em quantidade correspondente a 3,4 U.A. para cada 100g de malte, com o objetivo de aumentar a concentração de amino ácidos livres, e assim melhorar a nutrição da levedura no processo de fermentação.

Figura 2 - Gráfico de mosturação para processo de cerveja super concentrada (CARRILLO, R. D; CARRILLO, R; MARTÍNEZ, 2011).

Os autores estudaram cinco proporções visando a obter 13%; 13,5%; 14%; 14,5% e 15% de álcool v/v. Os experimentos foram conduzidos com uma levedura *S. cerevisiae* classificada por Abreu et al. (2004) por cumprir plenamente com as características de interesse cervejeiro: tolerância e formação de álcool; eficiência fermentativa; capacidade de floculação, clarificação e sedimentação. A metodologia seguida por Carrillo, R. D; Carrillo, R. e Martínez (2011) foi aplicada em processo descontínuo alimentado, onde se começou a fermentar o mosto de puro malte, e perto do final da etapa de crescimento da levedura foi adicionada a sacarose em forma de xarope (60°Brix). Das cinco proporções estudadas, a segunda foi a mais eficiente, fornecendo uma cerveja com concentração alcoólica de 14,33% v/v.

2.6 Avaliação sensorial

Segundo Simpson (2006) os cervejeiros precisam ter claras as especificações dos seus produtos. Enquanto isto pode ser parcialmente obtido por meio de parâmetros de análise físico-químicos, tais como a teor de álcool, o valor

de pH, cor, etc, o uso de perfis sensoriais detalhados pelo gosto de especialistas, fornece um maior conhecimento sobre o sabor do produto.

Taylor e Organ (2009) confirmam que em uma cervejaria, a implantação de um programa de análise sensorial pode contribuir direta ou indiretamente para a qualidade do produto, o sucesso da marca, a lealdade do consumidor e, finalmente, a confiabilidade da empresa.

Os autores afirmam que ao planejar a avaliação sensorial em uma cervejaria é importante entender que o teste sensorial feito por especialistas e testes de consumo feito por consumidores não são os mesmos. O consumidor fornece respostas sobre as preferências e a intenção de compra do produto, e os especialistas fornecem informações sobre as diferenças dos atributos e as relações entre as variáveis. Para fazer isso os provadores requerem o uso de olfato, paladar, visão, audição e tato.

Araujo; Silva e Minim (2014) atribuem importância às provas de Análise descritiva quantitativa e teste de aceitação, para conhecer os aspectos do produto e a intenção de compra pelo consumidor.

2.7 Avaliações energética, econômica e do meio ambiente

2.7.1 Avaliação energética

Segundo Hinrichs et al. (2011) a energia é um dos principais constituintes da sociedade e é necessária para criar bens com base em recursos naturais e para fornecer muitos dos serviços com os quais temos nos beneficiados. Os autores conferem que atualmente cerca de 85% das fontes comerciais de energia usadas no mundo são oriundas de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. Entretanto, com exceção do carvão, as reservas desses combustíveis, com as taxas de utilização atuais, podem não durar mais do que o tempo de existência das pessoas vivas hoje.

Schu (2009) confirma que as cervejarias são grandes consumidoras de energia. O autor confirma que a energia é necessária em uma variedade de etapas dentro do processo produtivo:

- energia térmica que inclui o calor produzido por um processo e o calor necessário para manter esse processo;
- energia elétrica que inclui a energia utilizada em sistemas mecânicos (motores), refrigeração e resfriamento, abastecimento de ar comprimido, recuperação de CO₂, iluminação e ventilação.

A Figura 3 e 4 apresentam a distribuição dos requerimentos de energia térmica e elétrica em uma cervejaria.

Salazar (2014) confirma que a conservação de energia, mais precisamente a eficiência energética, vem ganhando importância nos últimos anos na indústria brasileira e mundial. Schu (2009) ratifica da importância de trabalhar com tecnologias que permitam poupar energia e assim fazer mais eficientes os processos cervejeiros.

Figura 3 - Requerimentos de energia térmica em uma cervejaria (Schu, 2014).

Figura 4 - Requerimentos de energia elétrica em uma cervejaria (Schu, 2014).

2.7.2 Avaliação econômica

Segundo Febres (2014) a economia é o estudo dos princípios que determinam a alocação de meios escassos entre finalidades competitivas, quando o objetivo da alocação é elevar ao máximo o lucro dos fins que a sociedade deseja.

Segundo o autor, pela definição, há três aspectos fundamentais a considerar: distintas finalidades simultâneas, meios escassos e a elevação ao máximo dos lucros, o que implica em obter o máximo com o menor custo (maior eficiência).

Cândido (2008) argumentou que existem alguns elementos de custo total de um produto, como por exemplo:

- matérias-primas;
- administração;
- salários e supervisão;
- facilidades auxiliares.

Kunze (1999) assinala que para elaborar cerveja é fundamental a utilização de energia térmica e elétrica e que estes requerimentos energéticos representam uma parte substancial do custo de produção.

2.7.3 Avaliação do meio ambiente

Todo processo produtivo que resulta na transformação de matérias-primas, requer o uso de algum recurso natural e gera algum tipo de impacto no meio ambiente. A geração diária destes resíduos ocasiona um grande problema para o desenvolvimento futuro da civilização e da sociedade (CASTRO, 2014).

Hinrichs et al. (2011) expõem que o uso de recursos energéticos e a aplicação de produtos químicos são dois dos principais fatos a afetar o meio ambiente. O crescimento do uso dos combustíveis fósseis observado desde o início da era industrial causou o aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico em torno de 30% e, provavelmente, a elevação da temperatura global. Segundo Keilbach (2009) antes da década de 1990 a consciência ambiental foi pouca desenvolvida; no entanto, a discussão pública sobre a mudança climática e os escândalos ambientais levou a uma reflexão na sociedade como um todo. A fonte afirma que a cerveja é um produto de alta qualidade e que seu processo de produção deve ocorrer de acordo com as demandas do meio ambiente. Processos ecologicamente negativos podem resultar em danos à imagem de uma cervejaria e, dependendo das circunstâncias, pode até mesmo resultar no seu fechamento, pelo que deveria ser uma obrigação para cada cervejaria de estar envolvido com este assunto. O autor destaca a importância de tecnologias que proporcionem economia de água e energia para diminuir o prejuízo ambiental. Segundo Barros et al. (2014) para produzir um GJ de energia procedente do petróleo se produz 73,3kg de CO₂, 0,003kg de CH₄ e 0,00006kg de NO₂.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

- Avaliar a utilização de xarope de milho como adjunto num processo tecnológico que permita elaborar cerveja superconcentrada.

3.2 Específicos

- Avaliar um processo de preparação de cerveja super concentrada utilizando o milho como adjunto nas proporções de 70:30, 55:45 e 20:80 em relação malte:adjunto;
- Estudar a cinética da fermentação da tecnologia de produção de cerveja super concentrada experimentada;
- Avaliar os efeitos econômicos, energéticos e de produtividade do processo de desenvolvimento;
- Avaliar a qualidade sensorial da cerveja obtida.
- Caracterizar a bebida obtida.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Planta Piloto de Bebidas da Escola de Engenharia de Lorena, da Universidade de São Paulo (EEL-USP).

4.1 Material

O material utilizado consta de matérias-primas e uma levedura *S. cerevisiae*, de baixa fermentação ou *lager*. As matérias primas foram: água, malte de cevada tipo *Pilsen*, xarope de milho e lúpulo.

4.1.1 Água

A água utilizada nos experimentos foi procedente do poço artesiano localizado na EEL. A Tabela 10 apresenta os resultados das análises da água feita de acordo com a STANDARD METHODS e descrita por (Aizemberg, 2012).

Tabela 10 – Características físicas químicas da água do poço artesiano da EEL.

Características	Resultado	Possível afetação
pH	6.66	Corrosão ou inibição das enzimas
Odor	Poucos odores	Defeito sensorial (olor)
Sabor	Livre	Defeito sensorial (teste)
Aspecto	Limpo	Defeito sensorial (visual)
Turbidez	0.54 UNT	Defeito sensorial (visual)
Cor	< 5 mg PI/L	Defeito sensorial (visual)
Dureza total	26 mg/L	Depende do tipo de cerveja a elaborar
Cloretos	1.2 mg/L	Corrosão e sabor salgado
Nitratos	0.19 mg/L	Câmbios na fermentação (elaboração e sensorial)
Ferro	0.055 mg/L	Detecção sensorial (teste e turbidez)

Fonte: Aizemberg, (2012).

4.1.2 Malte

O malte utilizado nos experimentos foi do tipo *Pilsen*, doado pela Malteria do Vale Ltda, localizada na cidade de Taubaté, no estado de São Paulo (SP). A Tabela 11 resume as principais características do malte, conforme descrito pelo fabricante.

Tabela 11 – Características do malte Pilsen.

	Resultados
Aspecto, Cor e Odor do malte	Normais
Umidade (%)	4,4
Extrato M.F. i.a. (%) ^a	82,5
Diferença de Extrato (%) ^b	1,8
Cor do mosto após fervura (EBC)	6,0
Sacarificação (min)	< 10
Proteína Total s.s. (%)	9,9
Nitrogênio Solúvel malte s.s. (mg/100g)	638
Nitrogênio Amíno Livre FAN (mg /100g) ss	135
Índice de Kolbach	40
Poder diastásico (WK)	256
pH do mosto	6,05

a - rendimento do extrato moagem fina base seca.

b - diferenças de rendimentos de moagem fina e grossa.

Fonte: Malteria do Vale Ltda, (2012).

As características do malte são adequadas para o trabalho a ser desenvolvido. A diferença entre a moagem fina e grossa é baixa o que deve garantir uma eficiente solubilização dos compostos do malte.

4.1.3 Xarope de milho

O xarope de milho foi doado pela empresa Cargill de Campinas – SP. O produto é comercializado com a denominação de MALTEGILL® 45/82, em baldes de 25 kg.

A Tabela 12 apresenta os dados do xarope segundo a ficha técnica da Cargill (informação pessoal)¹.

Tabela 12 – Principais especificações do xarope de milho MALTEGILL® 45/82.

Especificações	
Sólidos Totais (%)	81,0 – 83,0
Dextrose Equivalente (%)	44,0 – 46,0
pH	4,8 – 5,2
Perfil de açúcares (% base seca):	
Dextrose	máx. 13,0
Maltose	mín. 42,0
Maltotriose	máx. 22,0
Polissacarídeos	máx. 27,5

Fonte: Cargill, (2013).

Foi comprovado o conteúdo dos açúcares fermentescíveis do xarope de milho, pela técnica de fermentação limite segundo EBC (2005). Este dado definiu a porcentagem de fermentescíveis do xarope, e assim o valor máximo de álcool a obter, o que foi importante para calcular a eficiência de fermentação.

4.1.4 Lúpulo

O lúpulo utilizado foi doado pela AmBev, unidade de JACAREI-SP. Foi utilizado lúpulo em péletes da variedade amarga Zeus (11,9% alfa ácidos), além

¹ Ferreira C. B. **Ficha técnica de MALTEGILL® 45/82.** Mensagem fornecida por Carla_Vaz@cargill.com em 22 março. 2013.

de extrato isomerizado de lúpulo para repor o amargor na cerveja super concentrada final.

4.1.5 Levedura

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizada uma estirpe de levedura *S. cerevisiae*, denominada PPB-01 e classificada como levedura cervejeira, tipo *lager* ou levedura de baixa fermentação.

A levedura PPB-01 foi estudada por Abreu et al. (2004) e classificada como tolerante a alta concentração de álcool e é ótima para a fermentação de mostos concentrados.

4.2 Inóculo

O cultivo da levedura selecionada foi transferido de um tubo de ensaio para um meio líquido e depois para outros meios líquidos aumentando a cada transferência o volume de cultivo. O procedimento foi desenvolvido segundo a técnica de transferência asséptica descrita por Madigan et al. (2010), e o meio de cultura utilizado foi mosto puro de malte com uma concentração de 12°P previamente esterilizado. As células foram cultivadas pelo método de inoculações sucessivas em frascos Erlenmeyer de 100, 500, 1000 e 5000mL, e o volume de mosto em cada caso foi o 50% da capacidade do envase. Em cada passo o meio foi mantido sob agitação rotatória de 300rpm a 30°C por um tempo mínimo de 24h, em uma incubadora refrigerada marca CLENTEC.

4.3 Processamento

O projeto teve como objetivo a utilização de xarope de milho na elaboração de cerveja super concentrada. Foram realizados ensaios em escala de 5 litros e de 100 litros e foram testadas as proporções de 70:30, 55:45 e 20:80 de

malte:xarope de milho. Os mostos foram elaborados na microcervejaria da Planta Piloto de Bebidas da EEL - USP, que tem capacidade para elaborar 2hL de mosto pronto. Também foram elaborados mostos com concentrações de 10°P, para servirem como padrões das diferentes proporções estudadas. O apêndice D apresenta o diagrama de fluxo adotado nos processos.

Foram feitas duas provas por duplicata em escala de laboratório e uma prova em escala piloto para elaborar cervejas super concentradas estudando duas proporções, 70/30 e 55/45 malte/milho, respectivamente.

Para a obtenção das cervejas super concentradas foram utilizados mosto de puro malte com concentração de 16°P e o xarope de milho com concentração de 65°Brix. O procedimento de mosturação utilizado para a obtenção dos mostos super concentrados pode ser observado na Figura 5.

Foram feitas duas provas por duplicata da proporção 20/80 malte/milho tentando alcançar o máximo de álcool ($\approx 20\%$ álcool v/v) que permitem obter as concentrações do mosto de malte e o xarope de milho utilizado. Como os resultados não foram satisfatórios, então foram desenvolvidos diferentes ensaios para obter concentrações alcoólicas de 15, 14, 13 e 12%, respectivamente, mantendo-se a concentração original do mosto de malte e diminuindo-se a concentração do xarope de milho.

Também na escala laboratorial foram realizadas, uma provas por duplicata para obter mostos padrões, nas proporções 70/30 e 55/45, malte/milho. Na Figura 6, pode-se observar o procedimento de mosturação utilizado para a obtenção destes mostos. A concentração destes mostos foi de 10°P, concentração ajustada na fervura, segundo a proporção a elaborar.

Ressalva-se que não foram elaborados mostos padrões e experimentais na escala piloto, da proporção 20/80, malte/milho. Isto aconteceu porque os resultados das fermentações experimentais nesta proporção a escala laboratorial, não foram conclusivos.

4.3.1 Preparação do xarope de milho

O projeto incluiu a utilização de xarope de milho, obtido da indústria, como adjunto de malte. Para o estudo das proporções 70:30 e 55:45 malte: xarope de milho, o xarope foi utilizado na concentração de 65°Brix e no caso da proporção 20:80, foram utilizadas distintas concentrações testando diferentes concentrações de álcool ao final da fermentação. O xarope de milho, procedente da indústria, chega com uma concentração original entre 81 e 83°Brix (ver Tabela 12). Para sua utilização, o mesmo foi diluído à concentração desejada, fervido por 15 minutos, envasado a quente e resfriado à temperatura de fermentação. Os volumes de xarope foram calculados com a utilização da formula seguinte (Apêndice C1).

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} \quad (1)$$

Em que:

V_{mosto} – Volume de mosto (hL).

V_{xarope} – Volume de xarope (hL).

C_{mosto} – Concentração do mosto (kg/hL).

C_{xarope} – Concentração do xarope (kg/hL).

P_m – Porcentagem de extrato de malte na formulação (%).

P_x – Porcentagem de extrato de milho na formulação (%).

4.3.2 Moagem do malte

O objetivo da moagem é expor o interior do grão para proporcionar seu contato com água e formar o mosto cervejeiro. Nas cervejarias a moagem do malte tem uma relação fundamental com o equipamento de filtração do mosto cervejeiro. No projeto, os equipamentos da microcervejaria utilizada para obter o mosto, incluem um moinho de rolo da Mec Bier e um tanque de filtração.

4.3.3 Mosturação

A finalidade da mosturação é obter a maior quantidade de extrato com a melhor qualidade possível a partir do grão de malte. O objetivo na mosturação dos mostos experimentais foi obter mosto puro de malte com 16°P, com o qual se trabalhou com uma relação água/malte, de 2,5L/kg. O processo de mosturação foi desenvolvido com uma modificação do ilustrado na Figura 2 (pag 48), proposto por Carrillo, R. D; Carrillo, R e Martínez (2011). A Figura 5 apresenta o gráfico de mosturação utilizado para obter os mostos experimentais. Durante o procedimento a 48°C, foi adicionada papaína na relação de 34UA/kg de malte, com o objetivo de obter uma maior diluição de proteínas. Para facilitar a filtração do mosto foi adicionada a enzima alfa amilase termoestável Termamy -120L em uma proporção de 0.5mL por kg de malte aos 94°C.

Figura 5 - Gráfico de mosturação utilizado para obter os mostos experimentais.

Com os mostos padrões se trabalhou para obter, no início da fermentação, uma concentração inicial de extrato de 10°P, que utilizou uma relação de 4L de água por kg de malte. A Figura 6 apresenta o gráfico de mosturação utilizado para obter os mostos padrões.

Em ambos os casos o pH da água foi ajustado em 5,5, com ácido fosfórico com 85% de pureza.

Figura 6 - Gráfico de mosturação utilizado para obter os mostos padrões.

Quando o gráfico utilizado para obter os mostos experimentais (Figura 5) é comparado com o gráfico proposto por Carrillo, R. D; Carrillo, R e Martínez (2011) (Figura 2), foi possível observar que a modificação fundamental foi elevar a temperatura a 95°C no fim do processo e, assim, diminuir a viscosidade em relação à do mosto a 78°C, com o objetivo de filtrar o mosto em temperatura maior para obter maior eficiência nesta etapa. Com a elevação da temperatura ocorre a gelatinização de parte do amido que não foi modificado na malteação, e ainda permanece insolúvel no bagaço. Como as enzimas do malte não atuam acima dos 78°C foi necessário a adição de uma enzima exógena, alfa amilase termoestável, para hidrolisar o amido diluído e assim poder passar à seguinte etapa do processo.

Quando comparado o gráfico utilizado para obter os mostos experimentais (Figura 5) com o gráfico utilizado para obter os mostos padrões (Figura 6) as diferenças foram expressivas. Primeiro, no tempo de repouso a 63°C (1h a mais), o objetivo foi deixar agir a papaína e assim melhorar a hidrólise das proteínas. Segundo, a elevação da temperatura e a adição de alfa amilase termoestável, foram realizadas para facilitar a filtração do mosto.

4.3.4 Filtração do mosto

Ao final do processo de mosturação o extrato encontra-se diluído em água formando o mosto cervejeiro, mas está misturado ainda com a parte insolúvel do grão (bagaço), a qual precisa ser separada. No projeto os mostos foram filtrados em um tanque de filtração. As misturas dos mostos e as partes insolúveis do grão foram enviadas ao tanque de filtração onde se formou uma camada filtrante, com o bagaço de malte. As temperaturas de filtração dos mostos experimentais e dos padrões foram de 94 e de 78°C, respectivamente, e os mostos foram recirculados sobre o bagaço até clarificar. Foram obtidos os primeiros extratos em cada caso e o bagaço foi lavado com água quente à mesma temperatura da mistura até que as quantidades de extratos residuais do mosto baixaram para $\approx 2^\circ\text{P}$.

4.3.5 Fervura do mosto

Os mostos padrões foram fervidos por aproximadamente uma hora e meia. Nesta etapa foi adicionado lúpulo Zeus em péletes em quantidade suficiente para atingir 12 IBU. Foi adicionada também a quantidade de xarope de milho necessária para ajustar a proporção desejada de malte:xarope de milho. O final da etapa de fervura foi determinado com o ajuste da concentração do mosto a 10°P.

Os mostos experimentais também foram fervidos por cerca de uma hora e meia. Durante esta etapa foi adicionado lúpulo Zeus em péletes em quantidade suficiente para atingir 12IBU na cerveja final diluída. Ao final da etapa de fervura ajustou-se o mosto puro de malte a 16°P, mínimo.

4.3.5 Fermentação – Maturação

Previamente à fermentação foram avaliadas as fermentações limites para determinação das diferentes proporções estudadas. Este teste visou conhecer a

percentagem de açúcares fermentescíveis e com este dado e as concentrações de extratos dos mostos, calcular a quantidade de levedura que foi inoculada em cada etapa (Apêndice C4). A relação de levedura/açúcares fermentescíveis utilizada foi de 0,1186 g/g, segundo recomendado por Carrillo, R. D; Carrillo, R e Martínez (2011).

Os microrganismos utilizados na fermentação são estirpes de leveduras *S. cerevisiae*, que utilizam a via metabólica da fermentação alcoólica para ganhar energia, transformando os açúcares do mosto em etanol e CO₂. Além disso, durante o processo de fermentação acontece a formação de subprodutos que têm um efeito importante sobre o perfil sensorial da cerveja.

Os mostos foram resfriados, aerados e inoculados com a estirpe de levedura PPB-01, da EEL, e as fermentações foram conduzidas em temperaturas de 10 - 12°C.

O processo de fermentação para os mostos experimentais foi conduzido em regime descontinuo alimentado por cargas, que começaram a fermentar com o mosto puro de malte com concentração de 16°P. Quando a etapa de crescimento da levedura estiver atingindo o final da fase exponencial de crescimento, foi adicionado o xarope de milho. Para o estudo das proporções de 70/30 e 55/45 malte/milho, o xarope de milho foi utilizado com concentração de 65°Brix, e foi adicionado de uma só vez. Para a proporção de 20/80 malte/milho foram utilizadas diferentes concentrações do xarope, procurando obter cervejas com 12, 13, 14, 15 e 20% álcool v/v, e foram adicionadas em duas ou três cargas.

A proporção de malte/milho dos mostos padrões foi ajustada na fervura, e depois foram fermentados com concentração original de 10°P.

Após o término da fermentação, a temperatura do tanque foi reduzida para temperatura entre 3 e 4°C para a maturação da cerveja que prosseguiu por 14 dias. Quando alcançou a temperatura desejada de maturação, foi retirado o excesso de levedura pelo fundo do reator.

4.3.6 Acabamento da cerveja

A cerveja elaborada na escala piloto foi filtrada em um filtro de pratos da Mec Bier, tendo como auxiliar de filtração, terra perlítica Dicamex 427. Antes da filtração, foi ajustado o amargor da cerveja com a adição de extrato isomerizado de lúpulo, para alcançar o nível de 12IBU na cerveja depois da diluição.

Depois de filtrada a cerveja foi carbonatada e diluída. A água de diluição foi filtrada nas mesmas condições da cerveja, mas a uma temperatura de 90°C. Depois foi resfriada a temperatura da cerveja em um reator, e carbonatada até alcançar um conteúdo de CO₂, similar ao da cerveja.

A cerveja depois de diluída foi engarrafada e pasteurizada. Para calcular a quantidade da água de diluição (Apêndice C10) foi utilizada a seguinte formula.

$$V_a = \frac{(V_m \times C_m) + (V_x \times C_x)}{C_{dc}} - (V_m + V_x) \quad (2)$$

Em que:

V_a - Volume de água a adicionar para diluir a cerveja super concentrada (hL).

V_m - Volume de mosto puro de malte (hL).

C_m - Concentração do mosto de malte (kg/hL).

V_x - Volume de xarope de milho (hL).

C_x - Concentração do xarope de milho (kg/hL).

C_{dc} - Concentração em açúcares (extrato original) desejada para a cerveja diluída (kg/hl).

4.4 Determinação dos parâmetros do mosto

No estudo da cerveja super concentrada foram analisados a concentração de extratos (°P), a concentração de extratos fermentescíveis, pH e a concentração de nitrogênio amínico livres (FAN). A concentração de extratos, assim como os

outros parâmetros de fermentação, foram determinados em analisador de cerveja da marca Anton Paar, modelo DAS 5000. As concentrações de extratos fermentescíveis pela técnica de fermentação limite e de FAN foram feitas de acordo com EBC (2005). As análises de pH, tanto do mosto quanto das cervejas, foram feitas em medidor de pH da marca MARCONI, modelo MA-522.

4.5 Determinação dos parâmetros fermentativos

Os parâmetros fermentativos foram determinados pelas retiradas de amostras a cada 12h. Foram medidos a temperatura, o pH, a concentração aparente e real de extrato do mosto, a concentração de álcool e a densidade. Estas análises foram realizadas no analisador de cerveja e em potenciômetro medido o pH, como mencionados no item anterior.

4.6 Determinação dos parâmetros cinéticos

Ao final da etapa de fermentação e maturação, foram determinadas as seguintes constantes cinéticas do processo: fator de conversão de substrato em células ($Y_{x/s}$), grau de atenuação aparente e real AT, fator de conversão do produto em células ($Y_{x/p}$) e eficiência da conversão de substrato em álcool (E), velocidade específica de crescimento celular e velocidade específica de formação de produto (Apêndices C5 a C9).

As formulas utilizadas para os cálculos dos parâmetros cinéticos estão relacionadas abaixo:

$$Y_{x/s} = \frac{(\Delta x)}{-(\Delta s)} \quad (3)$$

$$AT = \frac{EO - ER}{EO} \times 100 \quad (4)$$

$$Y_{x/p} = \frac{(\Delta x)}{(\Delta p)} \quad (5)$$

$$Efp = \frac{(Y_{p/s})}{(Y_{p/s} \text{ teórico})} \times 100 \quad (6)$$

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (7)$$

Em que:

$Y_{x/s}$ - Fator de conversão de substrato em células que não considera manutenção (g/g).

AT - Grau de atenuação do extrato (%).

EO - Extrato original do mosto (°P).

ER - Extrato real do mosto (°P).

$Y_{x/p}$ - Fator de conversão do produto em células (g/g).

Efp - eficiência da conversão de substrato em álcool (%).

Δ_x - Diferença entre a concentração inicial e final de células no mosto.

Δ_s - Diferença entre a concentração inicial e final de substrato no mosto.

Δ_p - Diferença entre a concentração inicial e final de álcool no mosto.

$Y_{p/s}$ - Fator de conversão de extrato em álcool (g/g).

$Y_{p/s}$ teórico - Fator de conversão de extrato em álcool (g/g), de acordo com o coeficiente de Balling (KRISTIANSEN, 2007).

4.7 Avaliação da concentração do nitrogênio amínico livre nos parâmetros fermentativos

Foram quantificadas as concentrações de nitrogênio amínico livre dos mostos e das cervejas pelo método estabelecido pela EBC (2005), e analisada a influencia deste parâmetro, quando comparado com os parâmetros cinéticos da fermentação.

4.8 Avaliação sensorial da cerveja diluída

Os testes sensoriais de aceitação foram realizados para avaliar as amostras experimentais entre elas e comparar com uma amostra comercial. Os testes foram realizados por consumidores comuns (com idades superiores aos 18 anos e sem experiência em análises descritiva de cerveja), e foram desenvolvidos no Laboratório da Planta Piloto de Bebidas da Escola de Engenharia de Lorena, em cabines individuais sob condições adequadas de iluminação e de temperatura.

Para a realização dos Testes de aceitação foi utilizada uma marca de cervejas nacional provenientes de processo de baixa fermentação, tipo *Pilsen Clara* e de médio teor alcoólico.

As amostras de cervejas foram servidas em copos descartáveis de 50mL a uma temperatura de 8°C, codificados com números aleatórios de três dígitos, juntamente com um copo de água, para enxaguar a boca entre as avaliações. Foi desenvolvido o teste de aceitação por 80 consumidores de cerveja, através de escala hedônica de 9 pontos, sendo 1 = desgostei extremamente e 9 = gostei extremamente e além foi avaliada a intenção de compra dos 80 consumidores de cerveja (apêndice A).

Cada parâmetro analisado foi avaliado estatisticamente e aplicado a análise de variância (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade.

4.9 Avaliação energética das proporções estudadas

Foram avaliados energeticamente os processos das diferentes cervejas estudadas quando comparadas com as cervejas obtidas com mostos padrões a 10°P. Os cálculos foram realizados tendo como base de cálculo um volume de 1hL (Apêndices C11 a C13). Em seguida estão apresentadas as fórmulas utilizadas neste item.

$$Q_{abs} = (M_m + A) \times Cp \times \Delta T \quad (8)$$

$$Q_{aq} = V_1 \times \rho \times Cp \times \Delta T \quad (9)$$

$$Q_{evap} = (V_1 - V_f) \times \rho \times \lambda \quad (10)$$

$$Q_{ced} = V_f \times \rho \times Cp \times \Delta T \quad (11)$$

$$Cp = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} \quad (12)$$

Em que:

Q_{abs} - Calor que absorve a massa da mistura de água e malte (kcal).

Q_{cal} - Calor que deve absorve o mosto para elevar sua temperatura à fervura (kcal).

Q_{evap} - Calor que se consume na fervura do mosto (kcal).

Q_{ced} - Calor que absorve a massa da mistura de água e malte (kcal).

M_m - Massa de malte (kg).

A - Massa de água (kg).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

H - Umidade (%).

V_1 - Volume de mosto ao início da fervura (hL).

V_f - Volume de mosto ao final da fervura (hL).

ρ - Densidade do mosto (kg/hL).

λ - Calor latente de evaporação (kcal/kg).

A fórmula para calcular o calor específico (cp) sob pressão constante, foi a proposta por Earle (1968). Foram calculados os consumos energéticos e depois comparados especificamente de acordo com o volume.

4.10 Avaliação econômica e ambiental da proporção selecionada

Com os dados da proporção selecionada foi feita uma estimativa econômica do processo.

Além disso, foram calculadas as quantidades de CO₂, CH₄ e N₂O que seriam deixadas de emitir ao meio ambiente com a aplicação desta tecnologia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características do mosto

A Tabela 13 apresenta as diferentes condições dos mostos elaborados para a obtenção de cervejas com proporções de extrato de 70/30 e de 55/45, malte/milho.

Tabela 13 – Características dos mostos com as proporções 70/30 e 55/45, malte/milho.

Amostras	Mostos 70/30, malte/milho			Mostos 55/45, malte milho		
Parâmetros	C	L	P	C	L	P
V total (L)	5,0	5,0	100,0	5,0	5,0	100,0
V mosto puro de malte (L)	-	4,60	91,48	-	4,28	85,2
V de xarope a 65°P (L)	-	0,40	8,52	-	0,72	14,8
Extrato original (°P)	10,02	21,18	22,28	9,99	24,94	25,44
Atenuação limite (%)	67,45	70,48	70,48	67,31	70,37	70,37
Massa de açúcares fermentescíveis (g)	350,7	810,9	17133,6	349,0	967,9	19795,1
Massa de levedura (g)	41,59	97,17	2032,0	41,39	114,8	2347,7

C, L e P, significam os três mostos avaliados: mosto controle, mosto experimental em escala laboratorial e mosto experimental em escala piloto.

Observa-se que as estimativas para os extratos originais nas cervejas experimentais estão acima dos 18°P, que por definição as classificam como cervejas elaboradas a partir de mostos super concentrados. As concentrações dos mostos na proporção 55/45 foram maiores que na proporção 70/30. Isto aconteceu, porque o mosto nesta condição tem uma maior proporção de milho e ter mantido a mesma concentração do xarope.

A Tabela 13 apresenta ainda os resultados da prova de atenuação limite. Observa-se que as atenuações limites dos mostos padrões são inferiores às atenuações dos mostos para cervejas super concentradas. Isto aconteceu devido

ao maior tempo de exposição da mistura, à 63°C na mosturação dos mostos concentrados, o que aumenta o potencial de hidrolises do amido, gerando mais maltose, quando comparado com os mostos padrões.

Além disso, na mesma tabela podem ser apreciadas ainda as massas de levedura inoculadas, que foram calculadas com base na proporção de 0,1186g de levedura/g de açúcar fermentável.

A Tabela 14 apresenta as condições dos mostos elaborados para a obtenção de cerveja com proporção de extrato de 20/80, malte milho, procurando obter concentrações alcoólicas estimadas em 20, 15, 14, 13 e 12%, respectivamente.

Tabela 14 – Características dos mostos na proporção 20/80, malte/milho, procurando simular diferentes concentrações de álcool.

Amostra	Mostos 20/80, malte/milho				
Parâmetros	20%	15%	14%	13%	12%
V total (L)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
V mosto puro de malte (L)	2,72	1,97	1,8	1,67	1,54
V de xarope (L)	2,28	3,03	3,2	3,33	3,46
Concentração do xarope (°P)	65,0	39,5	35,6	32,2	28,97
Extrato original (°P)	41,2	31,0	29,23	27,34	25,42
Atenuação limite (%)	69,57	69,57	69,57	69,57	69,57
Massa de açúcares fermentescíveis (g)	1696,8	1222,7	1142,0	1059,9	977,4
Massa de levedura (g)	201,2	145,0	135,4	127,7	115,9

Observa-se que o volume do mosto, a concentração e o volume de xarope, variam nas diferentes variantes, porém pode-se apreciar que a atenuação limite dos diferentes ensaios é a mesma. Isto, deve-se ao fato de que os processos foram calculados para obter as diferentes concentrações de álcool v/v procuradas, mas mantendo a proporção 20/80, malte/milho.

As massas de levedura inoculadas nestas condições também foram calculadas com base na proporção de 0,1186g de levedura/g de açúcar fermentável.

5.2 Avaliação da concentração do nitrogênio amínico livre (FAN) nos mostos

A Tabela 15 apresenta a comparação entre a concentração de FAN dos mostos padrões e experimentais nas proporções 70/30 e 55/45, malte/milho, com a proporção ideal de 350 açúcares fermentescíveis/FAN.

Tabela 15 - Comparação da concentração de FAN nos mostos 70/30 e 55/45, malte milho, com a proporção ideal.

Amostras	Mostos 70/30, malte/milho					Mostos 55/45, malte/milho				
Parâmetros	C	L		P		C	L		P	
		Inic	total	Inic	total		Inic	total	Inic	total
Açúcar										
fermentável (mg/L)	70148	123991	162170	131330	171337	69800	125191	193588	128084	197951
FAN (mg/L)	134,01	498,07	458,8	492,05	450,1	106,02	497,77	426,1	495,05	427,1
Açúcar										
fermentável /FAN	523,4	248,9	353,5	266,9	380,66	658,4	251,5	454,3	287,5	463,5
Açúcares										
fermentescí veis/FAN/350	1,50	0,71	1,01	0,76	1,09	1,88	0,72	1,23	0,82	1,32

C, L e P, significam os três mostos avaliados: mosto controle, mosto experimental em escala laboratorial e mosto experimental em escala piloto.

Pode-se ressaltar que os mostos experimentais tem no início uma concentração de FAN elevada. Isto acontece porque as fermentações começaram com um mosto de puro malte e se utilizou papaína, que contribuiu para o aumento do potencial de hidrólises da proteína do malte. Ao analisar as concentrações iniciais do FAN dos mostos experimentais, nas proporções 70/30 e 55/45, percebe-se que são similares, mas no total, depois de adicionar o xarope de milho torna-se mais elevada na proporção 70/30, porque a proporção de 55/45 leva mais xarope de milho o que não acrescenta FAN ao mosto.

Os mostos padrões, e as misturas de malte e milho, apresentaram uma baixa concentração de FAN quando comparados com os mostos puro malte dos mostos experimentais.

Ao analisar a proporção de açúcares fermentescíveis/FAN/350, nota-se, que os mostos padrões tiveram uma proporção deficiente, o que poderia ocasionar problemas na fermentação. No caso dos mostos experimentais 70/30, a proporção comparada está bem próxima de um, o que é ótimo para a nutrição da levedura, e demonstra o efeito positivo da utilização da papaína no processo de mosturação. No caso dos mostos experimentais 55/45, a proporção está acima da ótima, mas ainda assim, é melhor do que o mosto padrão. Os resultados da concentração de FAN foram adequados e ajudaram no correto desempenho do processo de fermentação para estas provas.

A Tabela 16 apresenta a comparação entre a concentração de FAN dos mostos experimentais da proporção 20/80 malte/milho, com uma proporção ideal de 350 açúcares fermentescíveis/FAN. Inicialmente foi estudada a concentração de 20% v/v de álcool, explorando o máximo de concentração de açúcares do mosto de malte e do xarope de milho. Como os resultados não foram bons, então foram avaliadas outras combinações com menor concentração alcoólica, estimando obter concentrações de 15, 14, 13 e 12% v/v de álcool na cerveja.

Tabela - 16 Comparação da concentração de FAN nos mostos 20/80, malte milho, com diferentes concentrações alcoólicas.

Amostra	Mosto 20/80, malte/ milho									
	20%		15%		14%		13%		12%	
Parâmetros	Inic	total	Inic	total	Inic	total	Inic	total	Inic	total
Açúcar										
fermentável (mg/L)	126673	344240	125756	248054	128931	231681	128861	215027	128437	198302
FAN (mg/L)	496,22	269,9	497,37	196,0	497,23	179,0	496,93	166,0	496,53	152,9
Açúcar										
fermentável /FAN	255,3	1275,4	252,8	1265,6	259,3	1294,3	259,3	1295,3	258,7	1297,0
Açúcar										
fermentável /FAN/350	0,73	3,63	0,72	3,62	0,74	3,70	0,74	3,70	0,74	3,7

Pode-se ressaltar que os mostos tiveram no início uma concentração de FAN elevada. Isto acontece porque as fermentações começaram com mosto puro de malte, e a utilização de papaína, aumentou o potencial de hidrólises das proteínas do malte. Entretanto as concentrações totais de FAN, para os cinco ensaios estudados na proporção 20/80 malte/milho, os resultados foram extremamente baixos. Os mostos, quando comparados com a proporção ideal de 350 açúcares fermentescíveis/FAN, ficaram com uma concentração de FAN ao redor 3,7 vezes menor que a ideal. Isto com certeza proporcionou uma grande influência nos resultados das fermentações dos mostos que utilizaram esta proporção.

5.3 Avaliação dos parâmetros fermentativos

Foram estudados os parâmetros fermentativos em escala de 5L, realizando dois ensaios por duplicata (4 amostras), com as fermentações dos mostos experimentais nas proporções de 70/30, de 55/45 e de 20/80 (5 ensaios), de malte/milho. Foi feita também uma prova por duplicata (2 amostras), para avaliar as fermentações dos mostos padrões para as proporções de 70/30 e de 55/45. Com as médias dos resultados foram traçados os gráficos avaliando-se o consumo de extrato e a formação de álcool para todas as provas desenvolvidas (Apêndice B).

Foi feito também um estudo em escala piloto com as proporções de 70/30 e de 55/45, de malte/milho, que também originaram os gráficos para avaliar o consumo de extrato e a de formação de álcool. Todas as fermentações foram conduzidas em temperaturas, entre 10 e 12°C.

As Figuras 7 e 8 apresentam o perfil de formação de álcool e de consumo de extrato, para as cervejas produzidas com a proporção de 70/30, de malte/milho.

Na Figura 7 pode-se observar que as cervejas concentradas alcançaram uma concentração alcoólica superior à 9,5%. Isto implica em um fator de diluição acima de dois, para obter uma cerveja diluída com a mesma concentração alcoólica da cerveja controle. Os valores, onde diminuírem as concentrações alcoólicas nas cervejas produzidas, correspondem aos pontos em que foram adicionados o xarope de milho.

Figura 7. Formação de álcool nas fermentações para cervejas 70/30 malte/xarope de milho.

Na Figura 8, nota-se que a concentração original de extrato para as cervejas experimentais foi superior à 16°P, que era valor mínimo de concentração desejado para o mosto puro de malte. É bom destacar que embora, esta concentração não passe dos 18°P, que é o mínimo para poder chamar o produto de super concentrado, a concentração de extrato original aumentou, quando foi adicionado o xarope, o que é válido para todas as provas com cervejas concentradas. No ponto, onde foi adicionado o xarope, as concentrações de extrato aumentaram, e como pode-ser observado aconteceu em uma única carga. As concentrações para as provas realizadas, com a adição do xarope, não passaram dos 14°P, o que garante a eficiência do método para evitar o estresse da levedura pela pressão osmótica.

Figura 8. Atenuação do extrato real nas fermentações para cervejas 70/30 malte/xarope de milho.

As Figuras 9 e 10 apresentam a formação de álcool e consumo de extrato das cervejas da proporção 55/45, malte/milho.

Figura 9. Formação de álcool nas fermentações para cervejas 55/45 malte/xarope de milho.

Na Figura 9, observa-se que as cervejas super concentradas alcançaram uma concentração alcoólica ao redor de 11%, o que exige um fator de diluição em torno de 2,6, para obter uma cerveja diluída com a mesma concentração alcoólica da cerveja controle. Os instantes em que diminuíram as concentrações alcoólicas nas cervejas experimentais, foram exatamente nos pontos onde foram adicionados o xarope de milho.

A concentração original de extrato para as cervejas produzidas também foi superior a 16°P. No ponto onde foi adicionado o xarope, houve aumento das concentrações nas provas, e também o xarope foi adicionado de uma única vez. As concentrações para os ensaios, com a adição do xarope, não passaram dos 18°P, o que garantiu também a eficiência do método para evitar o estresse da levedura por pressão osmótica.

Figura 10. Atenuação do extrato real nas fermentações para cervejas 55/45 malte/xarope de milho.

As concentrações de extratos dos mostos 55/45, foram superiores a dos mostos 70/30. Isto aconteceu, porque, embora a concentração do xarope seja a mesma, o volume foi maior para atingir a proporção de malte/milho desejada.

As Figuras 11 e 12 apresentam o perfil de formação de álcool e de consumo de extrato, dos diferentes ensaios da cerveja produzida na proporção de 20/80, de malte/milho.

Figura 11. Formação de álcool nas fermentações para cervejas de milho, 20/80 malte/ xarope de milho.

Pela Figura 11 pode-se notar que, embora se tenha estimado obter cervejas com concentrações de 12, 13, 14, 15 e 20% v/v de etanol, isto não foi possível, e os teores de álcool ficaram entre 7 e 9,5% v/v. Por isso, os resultados obtidos

com esta proporção de malte:milho foram considerados de baixo rendimento. Nos instantes, onde diminuíram as concentrações alcoólicas, foram exatamente nos pontos onde foram adicionados o xarope de milho.

Figura 12. Atenuação do extrato real nas fermentações para cervejas de milho, 20/80 malte/xarope de milho.

A condição de experimento para obter 20% de álcool foi planejada para colocar o xarope em duas cargas, porém só foi possível uma adição, já que a fermentação não prosseguiu. Isto, provavelmente aconteceu devido aos estresses

em que a levedura foi submetida, por causa da elevada pressão osmótica, porque a concentração de extrato ficou ao redor dos 28°P, e também principalmente em função da baixa concentração de FAN.

Os outros ensaios também foram planejados com adição de xarope em duas ou três cargas, mas só foi adicionado todo o xarope, no ensaio estimado com 12% de álcool.

Em todos os casos as fermentações sessaram ainda com grandes concentrações de açúcares fermentescíveis no mosto. Exceto, o ensaio estimado para obter 20% de álcool, as demais alcançaram concentrações máximas de extrato abaixo dos 20°P, o que elimina o fator de estresse, e a alta pressão osmótica. Além disso, as concentrações máximas de extrato que alcançaram os mostos experimentais com as proporções 55/45 (Figura 10), foram de ao redor dos 18°P, mas a fermentação conseguiu terminar com uma quantidade de açúcar residual baixa.

Por isso, entende-se que o fator limitante para os resultados encontrados nesta condição, deve ser atribuído à baixa concentração de FAN, conforme apontado na Tabela 16 (pag 73).

Na Figura 12 pode-se observar que as fermentações foram muito bem até o momento em que houve a adição do xarope, após esta etapa, acabou provocando a diluição das concentrações de FAN.

5.4 Avaliação dos parâmetros cinéticos

Nas Tabelas 17 e 18 estão apresentados os resultados da avaliação dos parâmetros cinéticos para as diferentes condições de obtenção das cervejas.

Para calcular as eficiências do processo, foram utilizadas as concentrações de extrato em m/v. A transformação da concentração de extrato de graus Plato, °P (m/m) em m/v, foi feita com o auxílio da Tabela de Goldiner et al. (1966).

Para poder avaliar a eficiência da formação de álcool, as concentrações alcoólicas também foram transformadas de v/v em m/v.

Tabela 17 - Parâmetros cinéticos avaliados nas fermentações das diferentes proporções estudadas.

Amostras	C _{tm}	C _{fm}	C _{lm}	CA _v	CA _m	Y _{p/s}	E _{fp}	AT _r	E _{aa}
70/30 lab	23,01	7,5	6,79	9,31	7,35	0,474	97,93	67,41	95,64
70/30 pil	24,31	8,34	7,18	9,56	7,55	0,473	97,70	65,69	93,21
70/30 cont	10,40	3,4	3,37	4,31	3,4	0,486	100,37	67,31	99,57
55/45 lab	27,51	9,22	8,15	11	8,68	0,475	98,07	66,48	94,48
55/45 pil	28,13	9,4	8,33	11,32	8,94	0,477	98,64	66,58	94,62
55/45 cont	10,37	3,42	3,37	4,26	3,36	0,483	99,91	67,02	99,29
20/80 20%	48,78	36,38	14,84	7,23	5,7	0,460	94,99	25,42	36,54
20/80 15%	35,15	24,52	10,70	6,08	4,8	0,452	93,32	30,24	43,47
20/80 14%	32,83	20,9	9,99	6,78	5,35	0,448	92,67	36,34	52,23
20/80 13%	30,47	18,88	9,27	6,51	5,14	0,443	91,65	38,04	54,68
20/80 12%	28,10	13,76	8,55	7,62	6,02	0,420	86,75	51,03	73,35

Em que:

C_{tm} – Concentração total de extrato (kg/hL).

C_{fm} – Concentração final de extrato (°P).

C_{lm} – Concentração limite final de extrato (°P).

CA_v – Concentração alcoólica em volume (mL/100 mL).

CA_m - Concentração alcoólica em massa (g/100 g).

Y_{p/s} - Fator de conversão de extrato em álcool (g/g).

Y_{p/st} - Fator teórico de conversão de extrato em álcool, segundo Balling (0,4839g de álcool/g açúcar fermentável).

E_{fp} – Eficiência de formação de produto (%).

AT_r – Grau de atenuação real do extrato (%).

E_{aa} – Eficiência de atenuação de açúcares (%).

X_i – Massa inicial de levedura (g).

X_f – Massa final de levedura (g).

m_{ie} – Massa inicial de extrato (g).

m_{fe} – Massa final de extrato (g).

Y_{x/s} - Fator de conversão de substrato em células que não considera manutenção (g/g).

Y_{x/p} - Fator de conversão do produto em células (g/g).

Tabela 18 - Outros parâmetros cinéticos avaliados nas fermentações das diferentes proporções estudadas.

Amostras	Xi	Xf	mie	mfe	Yx/s	Yx/p
70/30 laboratório	97,17	286,6	1150,5	375,0	0,2443	0,5155
70/30 piloto	2032	5689,6	24310	8340,0	0,2290	0,4845
70/30 controle	41,59	114,4	520	170,0	0,2080	0,4283
55/45 laboratório	114,8	332,9	1375,5	461,0	0,2385	0,5025
55/45 piloto	2347,7	6503,1	28130	9400,0	0,2219	0,4648
55/45 controle	41,39	111,7	518,5	171,0	0,2023	0,4185
20/80, para 20%	201,2	295,8	2439	1819,0	0,1526	0,3319
20/80, para 15%	145	245	1757,5	1226,0	0,1881	0,4167
20/80, para 14%	135,4	241,4	1641,5	1045,0	0,1777	0,3963
20/80, para 13%	127,7	242,6	1523,5	944,0	0,1983	0,4471
20/80, para 12%	115,9	242,2	1405	688,0	0,1762	0,4196

Para a análise da eficiência de fermentação de um mosto para a produção de cerveja, são fundamentais dois aspectos: primeiro é a conversão de substrato em produto (Y_p/s), neste caso a transformação de extrato em álcool, o que é essencial para obter o nível alcoólico desejado no produto; o segundo e mais importante, é o nível de atenuação do extrato. Este parâmetro é fundamental, porque uma cerveja que contenha uma grande quantidade de açúcares fermentescíveis vai ter um sabor muito adocicado, e além disso, estes açúcares vão se tornar uma fonte ideal para o futuro desenvolvimento de outros microrganismos, o que provoca uma possível contaminação.

Como os dados de consumo de extratos e de formação de alcoóis do presente trabalho, foram calculados os fatores de conversão de substrato em produto (Y_p/s) de todas as provas estudadas.

Observa-se que no caso das cervejas 70/30 e 55/45, malte/milho, o Y_p/s ficou muito perto de 0,4839g/g (fator de Balling), isto garantiu uma boa eficiência de transformação dos açúcares em álcool, de 97,93 e 98,07%, respectivamente. Os ensaios 20/80, malte/milho, tiveram eficiências menores, mas mesmo assim acima dos 90%, exceto o ensaio estimado para obter 12% de álcool.

Com os dados obtidos das concentrações máximas e das atenuações limites, foram calculados os extratos reais limites. Com estes valores e o consumo de extrato, em cada cerveja fermentada, foram determinados a eficiência do consumo de extrato. Nas proporções 70/30 e 55/45 as eficiências do consumo de

extrato foram de 95,64 e 94,48%, respectivamente, o que demonstrou que o processo utilizado para a fermentação proporcionou bom desempenho das fermentações.

Já as eficiências de consumo de extrato dos ensaios que utilizaram a proporção de 20/80, de malte/milho, foram de 36,2, 43,47, 52,23, 54,68, 73,35%, respectivamente. Isto demonstra, que as fermentações não foram completamente concluídas. Por isso, os resultados obtidos, nos cinco ensaios avaliados na proporção 20/80 foram considerados ruins para o processo de produção de cerveja nestas condições. Ao analisar estes resultados, pode-se concluir que a levedura não teve um bom desempenho, o que pode ter sido ocasionado, pela baixa concentração de FAN, e pelos efeitos das concentrações de extrato e de álcool.

Com as massas de extrato, de álcool e de leveduras, iniciais e finais, foram calculados os $Y_{x/s}$ e $Y_{x/p}$, das diferentes cervejas produzidas.

Observa-se que o fator de conversão de substrato em células, foi maior quando se utilizou as proporções 70/30 e 55/45, comparado com a proporção 20/80. Isto demonstra o baixo crescimento da levedura devido aos estresses a que foram submetidas as células na proporção 20/80.

5.5 Avaliação das características das cervejas estudadas

A Tabela 19 apresenta os resultados das concentrações de FAN nas cervejas, depois da fermentação.

Tabela 19 – Resultados das concentrações de FAN nas cervejas.

Amostras	FAN (mg/L)										
	70/30, malte/milho			55/45, malte/milho			20/80, malte/milho				
Parâmetros	C	L	P	C	L	P	12%	13%	14%	15%	20%
Cerveja Concentrada	-	225,3	227,1	-	213,2	217,4	17,83	23,3	24,8	27,5	33,3
Cerveja Diluída	38,49	112,3	106,8	33,58	101,4	99,0	6,2	7,8	7,4	7,7	7,0

Observa-se que nas proporções 70/30 e 55/45, as fermentações terminaram com concentrações suficientes de FAN, e isto comprova que este componente não foi um fator limitante nos processos para estas condições. Já na proporção de 20/80 percebe-se que a concentração de FAN foi muito baixa, o que confirma que nestas provas as concentrações de FAN, foram um fator limitante para o bom desenvolvimento dos processos fermentativos. Os cálculos foram efetuados considerando-se fatores de diluição, para obter cervejas diluídas com 4,2% v/v de álcool.

A Tabela 20 apresenta os resultados quanto aos volumes de água utilizados para as diluições das cervejas super concentradas e seus respectivos fatores de diluição. Observa-se que tanto na escala de laboratório quanto na escala piloto, as cervejas produzidas na proporção de 55/45 de malte/milho, resultam em maior produtividade do que aquelas obtidas pela proporção 70/30, de malte/milho.

Tabela 20 – Fator de diluição para as cervejas obtidas.

Amostras	Cervejas			
	Água (hL)	Concentrada (hL)	Diluída (hL)	fd
70/30 laboratório	0,061	0,05	0,111	2,22
70/30 piloto	1,34	1,0	2,34	2,34
55/45 laboratório	0,082	0,05	0,132	2,64
55/45 piloto	1,71	1,0	2,71	2,71

A Tabela 21, apresenta os resultados das análises físico-químicas realizadas nas cervejas padrões, super concentradas e nas cervejas diluídas e acabadas que foram submetidas ao teste de análise sensorial.

Tabela 21 - Análises das cervejas padrões, super concentradas e diluídas.

Parâmetros	Cerveja 70/30			Cerveja 55/45		
	Controle	Concentrada	Diluída	Controle	Concentrada	Diluída
Álcool (% v/v)	4,31	9,31	4,20	4,26	11,00	4,19
Extrato real (°P)	3,36	7,31	3,25	3,38	8,92	3,42
Extrato original (°P)	10,02	21,18	10,01	9,99	24,94	10,01
Extrato aparente (°P)	1,82	2,71	1,71	1,82	3,32	1,77
Atenuação real (%)	67,31	67,41	67,45	67,02	66,48	66,53
Atenuação aparente (%)	82,41	84,46	83,54	82,35	81,06	82,97
Cor (°EBC)	4,48	9,45	4,25	3,54	7,55	3,23
pH	4,31	4,12	4,27	4,25	4,08	4,24

Observa-se que as cervejas concentradas tiveram valores de extrato original estimados acima dos 18°P, o que implica em atender as exigências necessárias para atingir os graus de concentração de extrato original dos mostos, para o produto poder ser identificado como cerveja super concentrada.

As cervejas foram diluídas para terem concentrações alcoólicas similares às das cervejas padrões e também das cervejas comerciais tipo *pilsen* encontradas no mercado com teores alcoólicos entre 4 e 5% v/v. O uso do processo de obtenção de cerveja com mosto super concentrado aumentou em média, em 228 e 268%, o volume de produção das cervejas produzidas com 70/30 e com 55/45, malte/milho, respectivamente.

A coloração das cervejas produzidas com proporção de 55/45 foi inferior ao das cervejas obtidas com a proporção 70/30, porque a participação de extrato de malte no primeiro caso, foi menor. A intensidade de cor do xarope é muito baixa, e antes da adição o mesmo foi fervido por apenas 15 minutos, o que reduz a possibilidade de incremento de cor pelas reações de Maillard. Entretanto o mosto produzido para a obtenção de cerveja de puro malte, foi fervido por hora e meia, isto provoca o aumento das possibilidades de incremento de cor.

O grau de atenuação alcançado foi alto, e garantiu uma eficiente transformação dos açúcares fermentescíveis do mosto em álcool. O pH das cervejas também se manteve nos patamares normais e de acordo com valores encontrados nas cervejas comerciais.

5.6 Avaliação sensorial das cervejas estudadas

A Tabela 22, apresenta os resultados da avaliação sensorial das cervejas experimentais já diluídas obtidas com as proporções de 55/45 e de 70/30, quando foram comparadas com uma cerveja comercial.

Verificou-se que houve diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de probabilidades, quanto à cor e à aparência, da cerveja comercial, quando comparada com as cervejas experimentais, as quais tiveram melhor aparência e maior intensidade de cor.

Tabela – 22 Resultados da análise sensorial das cervejas experimentais diluídas quando comparadas com uma cerveja comercial.

Parâmetros	Cerveja 70/30	Cerveja comercial	Cerveja 55/45
Impressão global	7,10 ^a	6,59 ^a	7,10 ^a
Cor	7,28 ^a	6,28 ^b	7,26 ^a
Aroma	6,55 ^a	6,19 ^a	6,62 ^a
Sabor	6,36 ^a	6,24 ^a	6,69 ^a
Aparência	7,25 ^a	6,56 ^b	7,22 ^a
Intenção de compra	3,76 ^a	3,42 ^a	3,81 ^a

Letras diferentes correspondem a médias estatisticamente diferentes, ao nível de 95% de confiança.

Os resultados do teste sensorial, comprovaram que as cervejas desenvolvidas experimentalmente apresentaram qualidade sensorial similar, ou melhor, do que de uma cerveja comercial, muito consumida no Brasil.

5.7 Avaliação da economia energética dos processos estudados

A Tabela 23 apresenta uma avaliação da economia de energia térmica em relação do processo de produção das cervejas experimentais, com o das cervejas padrões na mesma proporção. A base de calculo foi estimada para a obtenção de 1 hectolitro de mosto.

Tabela 23 - Economia de energia térmica na elaboração dos mostos concentrados.

Fontes de consumo	Cerveja 70/30 (kcal/hL)		ΔQ (kcal/hL)	Cerveja 55/45 (kcal/hL)		ΔQ (kcal/hL)
	Controle	Diluída		Controle	Diluída	
Mosturação	1664,2	1496,7	167,5	1304,7	1183,8	120,9
Aquecimento	2297,9	420,1	1877,8	2297,9	445,5	1852,4
Fervura	4851,0	2058,0	2793	4851,0	1637,8	3213,2
Total	8813,1	3974,8	4838,3	8453,6	3267,1	5186,5
Economia (%)	-	-	54,9	-	-	56,8

Verifica-se que a elaboração de cervejas a partir de mostos super concentrados, proporciona em média de 56,8% de economia de energia térmica para a proporção 55/45, e 54,9% na proporção 70/30 em relação com seus padrões.

Ao avaliar a energia térmica economizada, para cervejas feitas com esta tecnologia, foi demonstrado que se poderia economizar 0,49 e 0,53 kg de óleo combustível por hL de mosto elaborado nas proporções 70/30 e 55/45, respectivamente, quando comparados com cervejas feitas de mostos originais de 10°P.

Outra economia importante é o da energia elétrica. A implementação desta tecnologia poderia economizar 2,42 e 2,52 kw-h de eletricidade para cada hL de mosto elaborado nas proporções 70/30 e 55/45, respectivamente.

5.8 Avaliação econômica da produção das cervejas concentradas

A Tabela 24 apresenta a avaliação da econômica com a produção de cervejas super concentradas.

Tabela 24 - Avaliação econômica da produção das cervejas estudadas.

Fonte de energia	Unidade	Preço	Cerveja 70/30		Cerveja 55/45	
			Δ Energia	Δ Econômica	Δ Energia	Δ Econômica
Óleo combustível	kg	1,75	0,49	0,86	0,53	0,93
Energia elétrica	kw-h	0,329	2,24	0,74	2,52	0,83
Total (R\$)	-	-	-	1,6	-	1,76

Pode-se ressaltar que quando comparadas, com cervejas feitas com mostos nas concentrações originais de 10°P, as cervejas 70/30 e 55/45, proporciona uma diminuição no custo de R\$1,6 e R\$1,76 por hL, respectivamente. A implementação desta tecnologia em uma cervejaria com capacidade de 10 milhões de hL/ano, proporcionaria uma economia de 16,0 e 17,6 milhões de R\$/ano, respectivamente.

5.9 Avaliação do efeito sobre o ambiente das cervejas estudadas

A diminuição da utilização de energia térmica e elétrica, além de ter um efeito econômico, tem um efeito positivo muito importante sobre o meio ambiente.

Para produzir 1GJ de energia originado do petróleo se produz 73,3kg de CO₂, 0,003kg de CH₄ e 0,00006kg de NO₂. A Tabela 25 apresenta um balanço dos gases de efeito estufa que se deixariam de emitir por hL de cerveja elaborado pela tecnologia de fermentação de mostos super concentrados.

Tabela 25 – Massas de gases de efeito estufa que podem ser deixados de emitir por hL de cerveja.

Proporção	Óleo diesel/hL			Energia elétrica/hL		
	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)
70/30	1,50	6,0 x 10 ⁻⁵	1,2 x 10 ⁻⁶	0,65	2,6 x 10 ⁻⁵	5,2 x 10 ⁻⁷
55/45	1,61	7,0 x 10 ⁻⁵	1,3 x 10 ⁻⁶	0,67	2,7 x 10 ⁻⁵	5,4 x 10 ⁻⁷

A Tabela 26 apresenta um balanço dos gases de efeito estufa que se deixariam de emitir, por um exemplo como a Unidade da Cervejaria da AmBev de Jacareí, cuja capacidade de produção é de 10 milhões de hL/ano.

Tabela 26 – Massas de gases de efeito estufa que podem ser deixados de emitir para 10 milhões de hL de cerveja.

Proporção	Óleo diesel/hL			Energia elétrica/hL		
	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	N ₂ O (t)	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	N ₂ O(t)
70/30	15000,4	0,607	0,012	6455,6	0,261	0,005
55/45	16079,9	0,651	0,013	6722,4	0,272	0,005

Verifica-se, que a quantidade de CO₂ que a unidade produtora deixaria de emitir seria bem elevada quando comparado com os outros dois gases avaliados, que têm efeito muito mais negativo sobre o meio ambiente, que o CO₂.

Nas grandes cervejarias parte do CO₂ formado nas fermentações, é recuperado para utilizá-lo em outras etapas do processo produtivo. No início do processo se libera uma mistura de CO₂ com ar que ocupa o espaço vazio entre o

nível do volume útil de fermentação e o topo do reator, até alcançar a pureza desejada de CO_2 . Como a quantidade de CO_2 liberada depende do espaço vazio deixado no reator, a implantação desta tecnologia de diluir a cerveja depois da fermentação, vai diminuir a quantidade específica de CO_2 liberada ao meio ambiente em uma proporção similar ao fator de diluição utilizado.

O mesmo acontece com a água e os produtos químicos para a limpeza dos equipamentos utilizados até a etapa de filtração, o que é muito favorável para o meio ambiente.

6. CONCLUSÕES

O processo para a elaboração de cerveja super concentrada utilizando o milho como adjunto nas proporções de 70/30 e 55/45, malte/adjunto, é viável sob o ponto de vista tecnológico e econômico;

A utilização de papaína na mosturação dos mostos super concentrados, foi essencial, pois permitiu obter maior concentração de FAN no mosto, para melhorar a nutrição da levedura no processo fermentativo;

As eficiências da atenuação de extrato e a de formação de álcool foram adequadas nas proporções 70/30 e 55/45. Entretanto a eficiência da atenuação do extrato, da proporção 20/80 foi insuficiente, provavelmente devido aos estresses a que foi submetida a levedura, como a falta de nutrientes, e alta concentração de extrato e álcool;

As cervejas obtidas com a tecnologia estudada com uso de concentrações originais acima dos 18°P, cumpriram as exigências para serem denominadas de cervejas super concentradas;

As cervejas obtidas com as proporções 70/30 e 55/45 avaliadas sensorialmente e comparadas com uma cerveja comercial, obtiveram excelente apreciação;

O processo de elaboração e fermentação de mostos super concentrados demonstrou que aporta importante economia energética, economizando 0,49 e 0,53kg de óleo combustível e 2,24 e 2,52kw-h de eletricidade, para cada hL de cerveja elaborada com as proporções 70/30 e 55/45, respectivamente, e geraram importante benefício ao ambiente.

O processo, também permitiu aumentar a produtividade da unidade produtora em 228 e 268%, e causar economia de R\$1,60 e R\$1,76, por hL de cerveja produzida nas proporções 70/30 e 55/45, respectivamente.

7. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem estabelecer novas estratégias para o desenvolvimento de trabalhos futuros, como por exemplo:

Otimizar o processo em escala piloto, visando a aplicação industrial.

Explorar o potencial de outras enzimas proteolíticas para obter maior teor de nitrogênio amínico livre, no mosto cervejeiro.

Explorar o potencial de outras leveduras para a obtenção de cervejas super concentradas.

Desenvolver cervejas super concentradas com a utilização de outros xaropes, como por exemplo o de caldo de cana concentrado e lupulado.

Pesquisar o tipo e a concentração de nutrientes necessários para viabilizar o processo de produção com a proporção 20/80, de malte/milho, no mosto para desenvolver uma cerveja super concentrada de milho.

REFERENCIAS

ABREU, J; GUZMÁN, T. M; COBO, H; CARRILLO, R. Caracterización de las cepas de levadura en uso en las cervecerías. **Ciencia y Tecnología de los Alimentos**, v 14, p. 5 -12, 2004.

AIZEMBERG, R. Preliminary assessment of water quality to be used in the brewing process. In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES, 2012, Araraquara-SP. **Anais...** Araraquara: UNESP, 2012. p. 70.

ALMEIDA e SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO W. G. **Tecnologia de bebidas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. p. 347 – 378 p.

AMBEV: **Relatório Anual 2011**.

Disponível em: [http://www.ambev.com.br/media/3939214/ra_ambev_2012.pdf]

Acesso em: Fevereiro de 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR MICROBIOLOGY. High-gravity brewing: effects of nutrition on yeast composition, fermentative ability, and alcohol production. **Applied and environmental microbiology**.

Disponível em:

[<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC241579/pdf/aem00154-0187.pdf>]

Acesso em: Janeiro de 2013.

ARAUJO, F. B; SILVA, P. H. A; MINIM, V. P. R. **Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro**. Disponível em: [<http://www.scielo.br/pdf/cta/v23n2/v23n2a04.pdf>]

Acesso em: Março de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14140**: teste de análise descritiva quantitativa (ADQ). São Paulo. 1998. 5 p.

AVESUKAREE, C; DAMNERNSAWAD, A; KRUATRICHUE, M; POKETHTIYOOK, P; BOONCHIRD, C; KANEKO, Y; HARASHIMA, S. Genome – Wide identification of genes involved in tolerance to various environmental stresses in *saccharomyces cerevisiae*. **J. Appl Genet**, v. 50, n 3, p. 301 – 310, 2009.

Disponível em:

[<http://link.springer.com/article/10.1007%2F03195688?LI=true#page-1>]

Acesso em: Março de 2013.

BARROS, L. H; RODRIGUES, B. J; URQUIAGA, S; BODDEY, R. M. **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil.**

Disponível em:

[<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/630482/1/cit027.pdf>]

Acesso em: Março de 2014.

BARTH, H. J., KLINKE, C; SCHMIDT, C. **The hop atlas ± the history and geography of the cultivated plant.** Nuremberg: Barth. 1994. 383 p.

BASAŘOVÁ G. ČEPIČKA, J. **Sladaertví a pivovarstuví.** Praha: SNTL. 1985.

BAJOMO, M.F; YOUNG, T.W. **Development of a mashing profile for the use of microbial enzymes in brewing with raw sorghum (80%) and malted barley or sorghum malt (20%).** Disponível em:

[<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2050-0416.1992.tb01138.x/abstract#>]

Acesso em: Fevereiro de 2014.

BRADDEE, L; DUENSING, W; HELSTAD, S; KLIMOVITZ, R; LAIDLAW, A. Adjuntos. In: KLIMOVITZ, R. **El cervecero en la práctica.** 3rd Ed. Minnesota: Master Brewers Association of Americas, 2002.

BREWING AND BEVERAGE INDUSTRY ESPAÑOL. Industria de cervecería y de bebidas. The International Beverage Market. Mindelburg: Sachon GmbH + Co, Schloss Mindelburg. 2011. N° 3.

BRIGGS, E. D.; BOULTON, C.A.; BROOKES, P. A.; STEVENS, R. **Brewing science and practice**. Boca Raton FL: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 2004. p. 50, 51, 59, 101, 243.

CÂNDIDO, E. **Estudo de viabilidade econômica de produção de xilitol a partir de hidrolisado hemicelulósico de palha de cevada**. 2008. 48 p. Tese (doutorado em biotecnologia industrial). - Escola de Engenharia de Lorena. Universidade de São Paulo. Lorena. 2008.

CARRILLO, R. D. **Desarrollo de un proceso de elaboración de cerveza concentrada**. 2009. 6 p. monografia (graduação de engenharia química). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE). Habana. 2009.

CARRILLO, R.D; CARRILLO, R; MARTÍNEZ, O. Eficiencia en la fermentación de mosto para cerveza de súper alta densidad. **Ciencia y Tecnología de los Alimentos**, v. 21, p 65-68, 2011.

CARRILLO, R; LÓPEZ, N. **Pilot evaluation of use of papain in malt mashing**. Disponível em: [<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3108852>]
Acesso em: Fevereiro de 2014.

CASEY. G. P ; MAGNUS. C. A. **Ingledew. Applied and Enviromental Microbiology**, v. 48, p. 639-646, 1984.

CASTRO, F. M. **Estudio de los residuos industriales líquidos y evaluación de las alternativas de mejoras para la industria cervecera valdivia**.
Disponível em :
[<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/fac355e/pdf/fac355e.pdf>]
Acesso em : Fevereiro de 2014.

CEREDA, M. P. Cervejas. In: AQUARONE, E.; ALMEIDA LIMA, U.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. p. 45 – 78.

CERVEJA brasileira: cerveja de milho. Disponível em:

[<http://www.diariodasaude.com.br/news.php?article=cerveja-brasileira-milho&id=8238>]

Acesso em: Janeiro de 2013.

CERVEZA de argentina. Tenor amargo en La cerveza. Disponível em:

[<http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/Tenor%20amargo%20en%20la%20cerveza.html>]

Acesso em: Março de 2013.

ČEPIČKA, J. **Kandidátská disertační práce**. Praha: VŠCHT. 1970.

CHERRY, J. R; FIDANTSEF, A. L. **Directed evolution of industrial enzymes: an update**. Disponível em:

[<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166903000995>]

Acesso em: Fevereiro de 2014.

COORS, J. **Techn. quartely**. MBSA, v. 13, p. 117, 1975.

DAVIES. M. R; DICKERSSON, SMITH. J. B. The Practical Application of Freeze Concentration to Beer Production. Im: CONGRESS EBC. p. 650-653, 1987.

DEÁK, T. **Handbook of food spoilage yeasts**. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis, 2008. p. 131 – 132.

DEVANTIER, R; PEDERSEN, S; OLSSON, L. Characterization of very high gravity ethanol fermentation of corn mash. Effect of glucoamylase dosage, pre-saccharification and yeast strain. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 68, p. 622–629, 2005.

DOWHANICK, T.M. Levadura – cepas y técnicas de manejo. In: KLIMOVITZ, R. **El cervecero en la práctica**. 3rd ed. Minnesota: Master Brewers Association of Americas, 2002.

DRAGONE, G; ALMEIDA e SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. p. 15 – 50.

EARLE, R.L. **Ingeniería de los alimentos**. Zaragoza: ACRIBIA. 1968.

EBC. Analytical European Brewery Convention, 2005.

EßLINGER, H. M. Fermentation, maturation and storage. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of brewing: processes, technology, markets**: Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2009.

FAO: Alpha-Amylase from *Bacillus Licheniformis* containing a genetically engineered alpha-amylase gene from *B. Licheniformis* (Thermostable).

Disponível em:

[<http://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/jecfa/cta/61/alphaamylase.pdf>]

Acesso em: Fevereiro de 2014.

FEBRES, A. **Principios de economía**.

Disponível em: [[http://books.google.com.br/books?hl=pt-](http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=UKIgAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=principios+de+economia&ots=1QqkXyb89x&sig=_15we2kJwd0pOGWEFBADz5o6gdQ#v=onepage&q=principios%20de%20economia&f=false)

[BR&lr=&id=UKIgAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=principios+de+economia&ots=1QqkXyb89x&sig=_15we2kJwd0pOGWEFBADz5o6gdQ#v=onepage&q=principios%20de%20economia&f=false](http://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=UKIgAQAAIAAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=principios+de+economia&ots=1QqkXyb89x&sig=_15we2kJwd0pOGWEFBADz5o6gdQ#v=onepage&q=principios%20de%20economia&f=false)]

Acesso em: Fevereiro de 2014.

Folha de São Paulo.

CIENCIA. Folha de São Paulo. Cerveja nacional tem muito milho, afirma pesquisa da USP. Disponível em: [<http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/1164823-cerveja-nacional-tem-muito-milho-afirma-pesquisa-da-usp.shtml>]

Acesso em: Março de 2013.

FREEMAN, P.L. Cebada y malteado. In: KLIMOVITZ, R. **El cervecero en la práctica**. 3rd ed. Minnesota: Master Brewers Association of Americas, 2002.

GRANT, H. L. Lúpulo. In: KLIMOVITZ, R. **El cervecero en la práctica**. 3rd ed. Minnesota: Master Brewers Association of Americas, 2002.

HARDWICK, W. A. Historia mundial de la elaboración de cerveza y subdesarrollo en las américas. In: KLIMOVITZ, R. **El cervecero en la práctica**. 3rd ed. Minnesota: Master Brewers Association of Americas. 2002.

HARRISON, M. A; SCHAECHTER, M. Encyclopedia of Microbiology. San Diego: Elsevier, 2009. 28 p.

HAUKELI. A. D; LIE, S. **Brauwiss**, v. 26. 1974. 244 p.

HAWKING. P. J. **High gravity brewing**. brewer's guardian may. 1975. 46-47 p.

HINRICHS, R.A; KLEINBACH, M; DOS REIS, L. B. **Energia e meio ambiente**. 4th ed. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda. 2011. 1, 235 p.

HISTÓRIA da cerveja. Disponível em:

[<http://www.bierland.com.br/bierland/historia-da-cerveja.html>]

Acesso em: Janeiro 2014.

HISTÓRIA da cerveja no brasil. Disponível em:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_da_cerveja_no_Brasil]

Acesso em: Fevereiro de 2014.

HUDSON, J.R. **J. Inst. Brew**, v. 71, p 482, 1965.

INDÚSTRIA Cervecera Argentina. Disponível em:

[fing.uncu.edu.ar/catedras/industrial/industrias/archivos/catedras/industrias/2005IndustriaCervecera]

Acesso em: Janeiro 2013.

KEILBACH, J. Handbook of brewing: processes, technology, markets:

Environmental protection. Weinheim: WILEY-VCH. 2009. p. 665 – 664.

KOLOTHUMANNIL, C; THOMAS, W; INGLEDEW, M. Fuel alcohol production: effects of free amino nitrogen on fermentation of very-high-gravity wheat mashes.

Applied and Environmental Microbiology, p. 2046-2050, july, 1990.

Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC184558/pdf/aem00088-0074.pdf> . Acesso em: março de 2013.

KREISZ, S. Malting. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of brewing: Processes, technology, markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009.

KRISTIANSEN, A. G. **Den skandinaviske bryggerhøjskole**. The Scandinavian School of Brewing, Scandinavian, 2007.

KROTTENTHALER, M; BACK, W; ZARNKOW, M; EßLINGER, H. M. Wort Production. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of brewing: Processes, technology, markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2009.

KROTTENTHALER, M; GLAS, K. Brew Water. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of brewing: Processes, technology, markets**: Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2009.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 2nd ed. Berlin: VLB, 1999. P. 85, 160 – 162, 435.

LEWIS, M. J. Y BAMFOSTH, C. W. **Essays in brewing science**. California: Springer Science, 2006.

LIMONA, H; YOMO, H. **Stabilizing beer**. US3512988.

Disponível em: [<http://www.google.com/patents/US3512988>]

Acesso em: Fevereiro de 2014.

MADIGAN, M. T; MARTINKO, J. M; DUNLAP, P. V; CLARK, D. P. **Microbiologia de Brock: nutrição, cultura e metabolismo de micro-organismo**. 12^a Ed. Porto Alegre: Artimed, 2010. 108, 113 p.

MARTÍNEZ, O; CARRILLO, R; VILLAVICENCIO FERRER, M; CARRILLO, R.D.
Utilización de etanol como sustituto de azúcares fermentables en la elaboración de cervezas. **Ciencia y Tecnología de los Alimentos**, v. 21, p. 31-34, 2011.

MERCADO sul-americano de cerveja: crescimento acima da media. 2004.
Disponível em: [<http://www.cervesia.com.br/dados-estatisticos/576-o-mercado-sul-americano-de-cerveja-crescimento-acima-da-media.html>]
Acesso em: Fevereiro de 2013.

MEILGAARD, M. Composición del mosto. In: KLIMOVITZ, R. **El cervecero en la práctica**. 3rd ed. Minnesota: Master Brewers Association of Americas, 2002.

MEUSSDOERFFER, F. G. A Comprehensive History of beer brewing. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of brewing: processes, technology, markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009.

MEUSSDOERFFER, F. G; ZARNKOW, M; EßLINGER, H. M. Starchy raw materials. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of brewing: processes, technology, markets**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009.

MITTER, W; COCUZZA, S. Use of Isomerized Hop Extract as a Replacement for Conventional Hop Extract and Its Influence on Beer Flavor. **Master Brewers Association of the Americas**. V. 46, 2009.

Disponível em: [<http://www.hopsteiner.org/pdf/neuigkeiten-berichte/technische-veroeffentlichungen/useofisomerizedhopextract.pdf>]
Acesso em: Março de 2013.

O'ROURKE, T. Mash separation systems. **The Brewer International**, v.3, n 2, 2003.

PALNIER, A.K; RENNIE, H. **J. Inst.Brew.** v. 80, p. 48, 1974.

PAPAÍNA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Papa%C3%ADna>
Acesso em: Fevereiro de 2014.

PHAM T.N.L., DOAN N.H.D., LE V.V.M. **Using fed-batch fermentation in very high gravity brewing: effects of tween 80 and ergosterol supplementation on fermentation performance of immobilized yeast in calcium alginate gel.** Ho Chi Minh: Department of Food Technology, Ho Chi Minh City University of Technology, 2008.

PULIGUNDIA, P., SMOGROVACOVA, D., OBULAM V. S; KO, S. Very high gravity ethanolic brewing and fermentation: a research update: **J. Ind. Microbiol. Biotechnol**, v. 38, n. 9, p. 1133-1134, 2011.

SALAZAR, M. B. **Demanda de energia na indústria brasileira: efeitos da eficiência energética.** Disponível em:

[<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-15052012-094631/pt-br.php>]. Acesso em: Fevereiro de 2014.

SANCHEZ, G. W. Agua. In: KLIMOVITZ, R. **El cervecero en la práctica.** 3rd ed. Minnesota: Master Brewers Association of Americas, 2002.

SANCHEZ, S. **La cerveza en América.** Disponível em:

[<http://chevestuff.blogspot.com.br/2010/12/la-cerveza-en-america.html>]

Acesso em: Janeiro de 2014.

SCHU, G. Energy. In: EßLINGER, H. M. **Handbook of brewing: Processes, Technology, Markets.** Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2009.

SHAUS. O. O. Brewing with high gravity wort. **Tec. Quartely:** MBAA. p. 7 – 8, 1971.

SIGMA – ALDRICH. DSM. Termamyl 120L, Type L.

Disponível em:

[<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/a3403?lang=pt®ion=BR>]

Acesso em: Fevereiro de 2014.

SIMPSON, M. J. Brewing control systems: sensory evaluation. In: BAMFORTH, C. W. **Brewing: new technologies**. Cambridge: Woodhead, 2006.

STEWART, G; RUSSELL, G. **An introduction to brewing science & technology series iii brewer's yeast "the ibd blue book on yeast"**. London: The Institute of Brewing and Distilling, 2009. 78 p.

TAO, X; ZHENG, D; LIU, T; WANG, P; ZHAO, W; ZHU, M; JIANG, X; ZHAO, Y; WU, X. **A novel strategy to construct yeast *saccharomyces cerevisiae* strains for very high gravity fermentation**. Disponível em:
<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0031235>
Acesso em: Fevereiro de 2014.

TAYLOR, B; ORGAN, G. **Handbook of brewing: Processes, Technology, Markets: Sensory Evaluation**. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2009. 675 p. Edited by Eßlinger, H. M.

WEI, L.; WEI FAN, L.; YONG SUN, J. **Chinese Brewing**, v. 11, p. 31 – 33, 2008.

WHITAKER, J. R. **New and future uses of enzymes in food processing**.

Disponível em:

<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08905439009549782#.UvkMQfldUno>
Acesso em: Fevereiro de 2014.

APÊNDICES

Apêndice A. Ficha da análises sensorial

Nome: _____ Data: _____

Por favor, avalie a amostra codificada da esquerda para a direita e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou da mesma.

	Código da amostra: _____	_____	_____
9 – gostei extremamente	Notas: _____	_____	_____
8 – gostei muito	Impressão global: _____	_____	_____
7 – gostei moderadamente	Cor: _____	_____	_____
6 – gostei ligeiramente	Aroma: _____	_____	_____
5 – nem gostei / nem desgostei	Sabor: _____	_____	_____
4 – desgostei ligeiramente	Aparência: _____	_____	_____
3 – desgostei moderadamente			
2 – desgostei muito			
1 – desgostei extremamente			

Código da amostra: _____ ()

Assinale qual seria sua atitude quanto à compra do produto.

5 – eu certamente compraria este produto	_____ ()
4 – eu provavelmente compraria este produto	
3 – eu tenho dúvidas se compraria ou não este produto	_____ ()
2 – eu provavelmente não compraria este produto	
1 – eu certamente não compraria este produto	

Comentários:

Apêndice B. Gráficos de fermentação.

Figura B1 - Gráfico de fermentação de cerveja controle, 70/30 malte/xarope de milho.

Figura B2 - Gráfico de fermentação de cerveja experimental na escala de laboratório, 70/30 malte/xarope de milho.

Figura B3 – Gráfico de fermentação de cerveja experimental na escala piloto, 70/30 malte/xarope de milho.

Figura B4 - Gráfico de fermentação de cerveja controle, 55/45 malte/xarope de milho.

Figura B5 - Gráfico de fermentação de cerveja experimental na escala de laboratório, 55/45 malte/xarope de milho.

Figura B6 - Gráfico de fermentação de cerveja experimental na escala piloto, 55/45 malte/xarope de milho.

Figura B7 - Gráfico da fermentação de cerveja de milho experimental na escala de laboratório, 20/80 malte/xarope de milho, para obter 12% de álcool v/v.

Figura B8 - Gráfico de fermentação de cerveja de milho experimental na escala de laboratório, 20/80 malte/xarope de milho, para obter 13% de álcool v/v.

Figura B9 – Gráfico de fermentação de cerveja de milho experimental na escala de laboratório, 20/80 malte/xarope de milho, para obter 14% de álcool v/v.

Figura B10 - Gráfico de fermentação de cerveja de milho experimental na escala de laboratório, 20/80 malte/xarope de milho, para obter 15% de álcool v/v.

Figura B11 – Gráfico de fermentação de cerveja de milho experimental na escala de laboratório, 20/80 malte/xarope de milho, para obter 20% de álcool v/v.

Apêndice C. Cálculos

Apêndice C1. Cálculo dos volumes de xarope para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,046 \times 17,57 \times 30}{85,56 \times 70} = 0,004hL = 0,4L$$

Em que:

V_{mosto} – Volume de mosto de malte (hL).

V_{xarope} – Volume de xarope (hL).

C_{mosto} – Concentração do mosto (kg/hL).

C_{xarope} – Concentração do xarope (kg/hL).

P_m – Porcentagem de extrato de malte na formulação (%).

P_x – Porcentagem de extrato de milho na formulação (%).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,9148 \times 18,61 \times 30}{85,56 \times 70} = 0,0852hL = 8,52L$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,0428 \times 17,74 \times 30}{85,56 \times 70} = 0,0072hL = 0,72L$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,852 \times 18,15 \times 30}{85,56 \times 70} = 0,148hL = 14,8L$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,0272 \times 17,95 \times 80}{85,56 \times 20} = 0,0228hL = 2,28L$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,0197 \times 17,82 \times 80}{46,42 \times 20} = 0,0303hL = 3,03L$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,0179 \times 18,27 \times 80}{41,02 \times 20} = 0,148hL = 14,8L$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,0167 \times 18,26 \times 80}{36,60 \times 20} = 0,148hL = 14,8L$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$V_{xarope} = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto} \times P_x)}{(C_{xarope} \times P_m)} = \frac{0,0154 \times 18,20 \times 80}{32,51 \times 20} = 0,148hL = 14,8L$$

Apêndice C2. Cálculo dos extratos originais para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,046 \times 17,57) + (0,004 \times 85,56)}{0,05} = 23,01 kg / hL = 21,18^{\circ}P$$

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,9148 \times 18,61) + (0,0852 \times 85,56)}{1} = 24,31 kg / hL = 22,28^{\circ}P$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,0428 \times 17,74) + (0,0072 \times 85,56)}{0,05} = 27,51 kg / hL = 24,94^{\circ}P$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,852 \times 18,15) + (0,148 \times 85,56)}{1} = 28,13 kg / hL = 25,44^{\circ}P$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,0272 \times 17,95) + (0,0228 \times 85,56)}{0,05} = 48,78 kg / hL = 41,2^{\circ}P$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,0197 \times 17,82) + (0,0303 \times 46,42)}{0,05} = 35,15 kg / hL = 31,0^{\circ}P$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,018 \times 18,27) + (0,032 \times 41,02)}{0,05} = 32,83 \text{ kg} / \text{hL} = 29,23^\circ P$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,0167 \times 18,26) + (0,0333 \times 36,6)}{0,05} = 30,47 \text{ kg} / \text{hL} = 27,34^\circ P$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$EO = \frac{(V_{mosto} \times C_{mosto}) + (V_{xarope} \times C_{xarope})}{(V_{mosto} + V_{xarope})} = \frac{(0,0154 \times 18,20) + (0,0346 \times 32,51)}{0,05} = 28,10 \text{ kg} / \text{hL} = 25,42^\circ P$$

Apêndice C3. Cálculo de açúcares fermentescíveis para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 23,01 \times 0,7048 = 0,81087 \text{ kg} = 810,9 \text{ g}$$

Em que:

Maf- Massa de açúcares fermentescíveis (kg).

Al - Atenuação limite (%).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 1,0 \times 24,31 \times 0,7048 = 17,1336 \text{ kg} = 17133,6 \text{ g}$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 27,51 \times 0,7037 = 0,9679 \text{ kg} = 967,9 \text{ g}$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 1,0 \times 28,13 \times 0,7037 = 19,7958kg = 19795,1g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 48,78 \times 0,6957 = 1,6968kg = 1696,8g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 35,15 \times 0,6957 = 1,2227kg = 1222,7g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 32,83 \times 0,6957 = 1,14199kg = 1142,0g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 30,47 \times 0,6957 = 1,05989kg = 1059,9g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 28,10 \times 0,6957 = 0,9774kg = 977,4g$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 10,40 \times 0,6745 = 0,3507kg = 350,7g$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$Maf = Vt \times EO \times Al = 0,05 \times 10,37 \times 0,6731 = 0,349kg = 349,0g$$

Apêndice C4. Cálculo da massa de levedura para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$Ml = Maf \times fl = 810,9 \times 0,1186 = 96,17g$$

Em que:

MI - Massa de levedura (g).

fl - fato de uso de levedura por g de açúcar fermentável (g/g).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$Ml = Maf \times fl = 17133,6 \times 0,1186 = 2032,0g$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$Ml = Maf \times fl = 967,9 \times 0,1186 = 114,8g$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$Ml = Maf \times fl = 19795,1 \times 0,1186 = 2347,7$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$Ml = Maf \times fl = 1696,8 \times 0,1186 = 201,2g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$Ml = Maf \times fl = 1222,7 \times 0,1186 = 145,0g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$Ml = Maf \times fl = 1142,0 \times 0,1186 = 135,4g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$Ml = Maf \times fl = 1059,9 \times 0,1186 = 125,7g$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$Ml = Maf \times fl = 977,4 \times 0,1186 = 115,9g$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$Ml = Maf \times fl = 350,7 \times 0,1186 = 41,59g$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$Ml = Maf \times fl = 349,0 \times 0,1186 = 41,39g$$

Apêndice C5. Cálculo do Yp/s para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{7,35}{23,01 - 7,5} = 0,4739$$

Em que:

$Y_{p/s}$ - Fator de conversão de extrato em álcool (g/g).

ΔP – Massa de álcool formado na fermentação (kg).

ΔS – Massa de substrato consumida (kg).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{7,55}{24,31 - 8,34} = 0,4728$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{8,68}{27,51 - 9,22} = 0,4746$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{8,94}{28,13 - 9,4} = 0,4773$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{5,7}{48,78 - 36,38} = 0,4597$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{4,8}{35,15 - 24,52} = 0,4516$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{5,35}{32,83 - 20,9} = 0,4484$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{5,14}{30,47 - 18,88} = 0,4435$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{6,02}{28,1 - 13,76} = 0,4198$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{3,4}{10,4 - 3,4} = 0,4857$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$Y_{p/s} = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{3,36}{10,37 - 3,42} = 0,4835$$

Apêndice C6. Cálculo da eficiência da formação de produto para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4739 \times 100}{0,4839} = 97,93$$

Em que:

Efp – Eficiência de formação de produto (g).

Yp/s – Yp/s teórico segundo Balling (g/g).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4728 \times 100}{0,4839} = 97,70$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4746 \times 100}{0,4839} = 98,07$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4773 \times 100}{0,4839} = 98,74$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4597 \times 100}{0,4839} = 94,99$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4516 \times 100}{0,4839} = 93,32$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4484 \times 100}{0,4839} = 92,67$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4435 \times 100}{0,4839} = 91,65$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4198 \times 100}{0,4839} = 86,75$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4857 \times 100}{0,4839} = 100$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$E_{fp} = \frac{Y_{p/s} \times 100}{Y_{p/st}} = \frac{0,4835 \times 100}{0,4839} = 99,91$$

Apêndice C7. Cálculo da atenuação real do extrato para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$ATr = \frac{C_{fm} \times 100}{C_{tm}} = 100 - \frac{7,5 \times 100}{23,01} = 67,41$$

Em que:

ATr – Atenuação real dos açúcares no mosto (%).

C_{fm} - Concentração final de extrato no mosto (kg/hL).

C_{tm} - Concentração total de extrato no mosto (kg/hL).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{8,34 \times 100}{24,31} = 65,69$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{9,22 \times 100}{27,51} = 66,48$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{9,4 \times 100}{28,13} = 66,58$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{36,38 \times 100}{48,78} = 25,42$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{24,52 \times 100}{35,15} = 30,24$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{20,9 \times 100}{32,83} = 36,44$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{18,88 \times 100}{30,47} = 38,04$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{13,76 \times 100}{28,1} = 51,03$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{3,4 \times 100}{10,4} = 67,31$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$ATr = \frac{Cfm \times 100}{Ctm} = 100 - \frac{3,42 \times 100}{10,37} = 67,02$$

Apêndice C8. Cálculo da eficiência da atenuação do extrato para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{67,41 \times 100}{70,48} = 95,64$$

Em que:

Eaa – Eficiência da atenuação dos açúcares no mosto (%).

ATl – Atenuação limite dos açúcares no mosto (%).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{65,69 \times 100}{70,48} = 93,21$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{66,48 \times 100}{70,48} = 94,48$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{66,58 \times 100}{70,48} = 94,62$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{25,42 \times 100}{70,48} = 36,54$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{30,24 \times 100}{70,48} = 43,47$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{36,34 \times 100}{70,48} = 52,23$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{38,04 \times 100}{70,48} = 54,68$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{51,03 \times 100}{70,48} = 73,35$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{67,31 \times 100}{70,48} = 99,57$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$E_{aa} = \frac{ATr \times 100}{ATl} = \frac{67,02 \times 100}{70,48} = 99,29$$

Apêndice C9. Cálculo do Yx/s para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{189,43}{15510} = 0,2443$$

Em que:

Yx/s – Taxa de transformação de substrato em células (g/g).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{2657,2}{15970} = 0,2290$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{218,1}{18290} = 0,2385$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{4155,4}{18730} = 0,2219$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{94,6}{12400} = 0,1526$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{100}{10630} = 0,1881$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{106}{11930} = 0,1777$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{114,9}{11590} = 0,1983$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{126,3}{14340} = 0,1762$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{72,81}{7000} = 0,2080$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta S} = \frac{70,31}{6950} = 0,2023$$

Apêndice C10. Cálculo do Y_{x/p} para as diferentes proporções e escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{189,43}{367,5} = 0,5155$$

Em que:

Y_{x/p} – Relação de transformação de produto e células (g/g).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{2657,2}{7550} = 0,4845$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{218,1}{434} = 0,5025$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{4155,4}{8940} = 0,4648$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 20% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{94,6}{12400} = 0,3319$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 15% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{100}{10630} = 0,4167$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 14% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{106}{11930} = 0,3963$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 13% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{114,9}{11590} = 0,4477$$

Cerveja experimental 20/80 em escala de laboratório para obter, 12% de álcool v/v.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{126,3}{14340} = 0,4196$$

Cerveja controle 70/30 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{72,81}{7000} = 0,4283$$

Cerveja controle 55/45 em escala de laboratório.

$$Y_{x/s} = \frac{\Delta X}{\Delta P} = \frac{70,31}{6950} = 0,4185$$

Apêndice C10. Cálculo volume de água para as proporções 70/30 e 55/45, nas duas escalas estudadas.

Cerveja experimental 70/30 em escala de laboratório.

$$V_a = \frac{(V_m \times C_m) + (V_x \times C_x)}{C_{dc}} - (V_m + V_x) = \frac{(0,046 \times 17,57) + (0,004 \times 85,56)}{10,38} - (0,05) = 0,061hL$$

Em que:

V_a - Volume de água a adicionar para diluir a cerveja super concentrada (hL).

V_m - Volume de mosto puro de malte (hL).

C_m - Concentração do mosto de malte (kg/hL).

V_x - Volume de xarope de milho (hL).

C_x - Concentração do xarope de milho (kg/hL).

C_{dc} - Concentração em açúcares (extrato original) desejada para a cerveja diluída (kg/hL).

Cerveja experimental 70/30 em escala piloto.

$$V_a = \frac{(V_m \times C_m) + (V_x \times C_x)}{C_{dc}} - (V_m + V_x) = \frac{(0,9148 \times 18,61) + (0,0852 \times 85,56)}{10,38} - (1) = 1,34hL$$

Cerveja experimental 55/45 em escala de laboratório.

$$V_a = \frac{(V_m \times C_m) + (V_x \times C_x)}{C_{dc}} - (V_m + V_x) = \frac{(0,0428 \times 17,74) + (0,0072 \times 85,56)}{10,38} - (0,05) = 0,082L$$

Cerveja experimental 55/45 em escala piloto.

$$V_a = \frac{(V_m \times C_m) + (V_x \times C_x)}{C_{dc}} - (V_m + V_x) = \frac{(0,852 \times 18,15) + (0,148 \times 85,56)}{10,38} - (1) = 1,71hL$$

Apêndice C11. Cálculo do calor utilizado na elaboração dos mostos**Cerveja concentrada 70/30****Massa de malte**

$$Mm = Cmf \times Vm \times \frac{1}{Pe} \times \frac{1}{Rm} = 17.02 \times 0.92 \times \frac{1}{0.96} \times \frac{1}{0.771} = 21,16kg$$

Em que:

Mm - Massa de malte (kg).

Cmf - Concentração do mosto depois da fervura (kg/hL).

Pe - Perdas de extrato na sala de cozimento.

Rm - Rendimento do malte.

Vm - Volume de mosto de malte (hL).

Concentração da mistura na mosturação

$$Cm = \frac{Mm \times Rm}{(Mm \times Rm) + (Hm \times Mm) + A} = \frac{21.16 \times 0.771}{(21.16 \times 0.771) + (21,16 \times 0.044) + 52,9} = 0.2354 \times 100 = 23,54^\circ P$$

Em que:

Cm = Concentração da mistura (kg/kg).

Hm = Umidade do malte (%).

A = Massa de água (kg).

cp da mistura na mosturação

$$Cp = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{72,6}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 72,6}{100} = 0.78$$

$$H = \frac{HT}{MT} \times 100 = \frac{53,8}{74,06} \times 100 = 72,6$$

$$HT = (Mm \times Hm) + A = (21.16 \times 0.044) + 52,9 = 53,8$$

$$MT = Mm + A = 21,16 + 52,9 = 74,06$$

$$A = Mm \times Ra = 21,16 \times 2,5 = 52,9$$

Em que:

Cp - Calor específico (kcal/kg°C).

H - Umidade da mistura (%).

HT - Quantidade de água na mistura (kg).

MT- Massa da mistura (kg).

Hm - Umidade do malte (%).

A - Massa de água (kg).

Ra – Proporção de água por kg malte (kg)..

Calor na mosturação

$$Q_{abs} = (Mm + A) \times Cp \times \Delta T = (21,16 + 52,9) \times 0,78 \times (95 - 38) = 3292,7$$

Em que:

Qabs - Calor que deve absorver a mistura (Kcal).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

Calor de aquecimento para elevar o mosto à temperatura de fervura

$$Q_{aq} = V1 \times \rho \times Cp \times \Delta T = 1,0028 \times 105,810 \times 0,882 \times (100 - 94) = 562,0$$

Em que:

Qaq - Calor que deve absorver o mosto para elevar à temperatura de fervura (kcal).

V1 - Volume de tina de fervura cheia, para uma tina 6% de taxa de evaporação e fervura do mosto por 1,5h (hL).

ρ - Densidade do mosto a 15,61 kg/hL = 14,75°P (kg /hL).

cp do mosto depois da extração

$$Cp = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{85,25}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 85,25}{100} = 0,882$$

Calor de evaporação na fervura

$$Q_{evap} = (V1 - Vm) \times fc \times \rho \times \lambda = (1,0028 - 0,92) \times \frac{100}{1} \times 1 \times 539 = 4462,9$$

Em que:

Qevap - Calor utilizado na fervura do mosto (kcal).

ρ - Densidade da água (kg/L).

fc - Fato de conversão (L/hL).

λ - Calor latente de evaporação da água (kcal / kg).

Calor de aquecimento na elaboração do xarope

$$Q_{ax} = V1x \times \rho \times Cp \times \Delta T = 0,0812 \times 131,149 \times 0,486 \times (100 - 30) = 362,3$$

Em que:

ρ – Densidade do xarope a 84,3kg/hL = 64,25°P (KG/hL).

$$Cp = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{35,75}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 35,75}{100} = 0,486$$

Calor de evaporação na elaboração do xarope

$$Q_{ex} = (V1x - Vx) \times fc \times \rho \times \lambda = (0,0812 - 0,08) \times \frac{100}{1} \times 1 \times 539 = 64,7$$

Em que:

Qax – Calor utilizado no aquecimento do xarope (kcal).

Qex - Calor utilizado na fervura do xarope (kcal).

V1x – Volume de xarope com tina cheia (hL).

Vx – Volume de xarope (hL).

ρ – Densidade da água (kg/hL).

Calor total

$$QT = Q_{abs} + Q_{aq} + Q_{evap} + Q_{ax} + Q_{ex} = 3292,7 + 562,0 + 4462,9 + 362,3 + 64,7 = 8744,6$$

Cerveja controle 70/30

Massa de malte

$$Mm = Cmf \times Vm \times pm \times \frac{1}{Pe} \times \frac{1}{Rm} = 10,38 \times 1 \times 0,7 \times \frac{1}{0,96} \times \frac{1}{0,771} = 9,82 \text{ kg}$$

Concentração da mistura na mosturação

$$C_m = \frac{Mm \times Rm}{(Mm \times Rm) + (Hm \times Mm) + A} = \frac{9,82 \times 0,771}{(9,82 \times 0,771) + (9,82 \times 0,044) + 39,3} = 0,1600 \times 100 = 16^\circ P$$

cp da mistura na mosturação

$$C_p = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{80,9}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 80,9}{100} = 0,847$$

$$H = \frac{HT}{MT} \times 100 = \frac{39,73}{49,12} \times 100 = 80,9$$

$$HT = (Mm \times Hm) + A = (9,82 \times 0,044) + 39,3 = 39,73$$

$$MT = Mm + A = 9,82 + 39,3 = 49,12$$

$$A = Mm \times Ra = 9,82 \times 4 = 39,3$$

Calor na mosturação

$$Q_{abs} = (Mm + A) \times C_p \times \Delta T = (9,82 + 39,3) \times 0,847 \times (78 - 38) = 1664,2$$

Calor de aquecimento para elevar o mosto à temperatura de fervura

$$Q_{aq} = V1 \times \rho \times C_p \times \Delta T = 1,09 \times 103,485 \times 0,926 \times (100 - 78) = 2297,9$$

Em que:

ρ - Densidade do mosto a 9,52 kg/hL = 9,2°P (kg /hL).

cp do mosto depois da extração

$$C_p = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{90,8}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 90,8}{100} = 0,926$$

Calor de evaporação na fervura

$$Q_{evap} = (V1 - Vm) \times fc \times \rho \times \lambda = (1,09 - 1,0) \times \frac{100}{1} \times 1 \times 539 = 4851,0$$

Calor total

$$QT = Q_{abs} + Q_{aq} + Q_{evap} = 1664,2 + 2297,9 + 4851,0 = 8813,1$$

Poupança de calor entre os ensaios de 70/30

$$PQ = Q_{ct} - \frac{Q_c}{fd} = 8813,1 - \frac{8744,6}{2,2} = 4838,3$$

$$\%P = 100 - \frac{\frac{8744,6}{2,2} \times 100}{8813,1} = 54,9\%$$

Em que:

PQ - Poupança de calor (kcal).

Qct – Calor utilizado na cerveja controle (kcal).

Qc – Calor utilizado na cervja concentrada (kcal).

fd – fato de diluição.

%P – Porcentagem de poupança de energia térmica (%).

Cerveja concentrada 55/45**Massa de malte**

$$Mm = Cmf \times Vm \times \frac{1}{Pe} \times \frac{1}{Rm} = 17,02 \times 0,86 \times \frac{1}{0,96} \times \frac{1}{0,771} = 19,78kg$$

Em que:

Mm - Massa de malte (kg).

Cmf - Concentração do mosto depois da fervura (kg/hL).

Pe - Perdas de extrato na sala de cozimento.

Rm - Rendimento do malte.

Vm - Volume de mosto de malte (hL).

Concentração da mistura na mosturação

$$C_m = \frac{Mm \times Rm}{(Mm \times Rm) + (Hm \times Mm) + A} = \frac{19,78 \times 0,771}{(19,78 \times 0,771) + (19,78 \times 0,044) + 49,45} = 0,2326 \times 100 = 23,26\%$$

Em que:

C_m = Concentração da mistura (kg/kg).

H_m = Umidade do malte (%).

A = Massa de água (kg).

cp da mistura na mosturação

$$C_p = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{72,5}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 72,5}{100} = 0,78$$

$$H = \frac{HT}{MT} \times 100 = \frac{50,32}{69,43} \times 100 = 72,5$$

$$HT = (Mm \times Hm) + A = (19,78 \times 0,044) + 49,45 = 50,32$$

$$MT = Mm + A = 19,78 + 49,45 = 69,43$$

$$A = Mm \times Ra = 19,78 \times 2,5 = 49,45$$

Em que:

C_p - Calor específico (kcal/kg⁰C).

H - Umidade da mistura (%).

HT - Quantidade de água na mistura (kg).

MT - Massa da mistura (kg).

H_m - Umidade do malte (%).

A - Massa de água (kg).

Ra - Proporção de água por kg malte (kg)..

Calor na mosturação

$$Q_{abs} = (Mm + A) \times C_p \times \Delta T = (19,78 + 49,45) \times 0,78 \times (95 - 38) = 3078$$

Em que:

Qabs - Calor que deve absorver a mistura (Kcal).

ΔT - Diferença de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Calor de aquecimento para elevar o mosto à temperatura de fervura

$$Q_{aq} = V1 \times \rho \times C_p \times \Delta T = 0,937 \times 105,814 \times 0,882 \times (100 - 94) = 524,7$$

Em que:

Qaq - Calor que deve absorver o mosto para elevar à temperatura de fervura (kcal).

V1 - Volume de tina de fervura cheia, para uma tina 6% de taxa de evaporação e fervura do mosto por 1,5h (hL).

ρ - Densidade do mosto a 15,62 kg/hL = 14,76 $^{\circ}\text{P}$ (kg /hL).

cp do mosto depois da extração

$$C_p = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{85,24}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 85,24}{100} = 0,882$$

Calor de evaporação na fervura

$$Q_{evap} = (V1 - Vm) \times f_c \times \rho \times \lambda = (0,937 - 0,86) \times \frac{100}{1} \times 1 \times 539 = 4150,3$$

Em que:

Qevap - Calor utilizado na fervura do mosto (kcal).

ρ - Densidade da água (kg/L).

f_c - Fato de conversão (L/hL).

λ - Calor latente de evaporação da água (kcal / kg).

Calor de aquecimento na elaboração do xarope

$$Q_{ax} = V1x \times \rho \times C_p \times \Delta T = 0,142 \times 131,149 \times 0,486 \times (100 - 30) = 633,6$$

Em que:

ρ - Densidade do xarope a 84,35kg/hL = 64,3 $^{\circ}\text{P}$ (KG/hL).

$$C_p = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{35,7}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 35,7}{100} = 0,486$$

Calor de evaporação na elaboração do xarope

$$Q_{ex} = (V_{1x} - V_x) \times f_c \times \rho \times \lambda = (0,142 - 0,14) \times \frac{100}{1} \times 1 \times 539 = 107,8$$

Em que:

Q_{ax} – Calor utilizado no aquecimento do xarope (kcal).

Q_{ex} - Calor utilizado na fervura do xarope (kcal).

V_{1x} – Volume de xarope com tina cheia (hL).

V_x – Volume de xarope (hL).

ρ – Densidade da água (kg/hL).

Calor total

$$Q_T = Q_{abs} + Q_{aq} + Q_{evap} + Q_{ax} + Q_{ex} = 3078 + 524,7 + 4150,3 + 633,6 + 107,8 = 8494,4$$

Cerveja controle 55/45

Massa de malte

$$M_m = C_{mf} \times V_m \times p_m \times \frac{1}{P_e} \times \frac{1}{R_m} = 10,38 \times 1 \times 0,55 \times \frac{1}{0,96} \times \frac{1}{0,771} = 7,71 \text{ kg}$$

Concentração da mistura na mosturação

$$C_m = \frac{M_m \times R_m}{(M_m \times R_m) + (H_m \times M_m) + A} = \frac{7,71 \times 0,771}{(7,71 \times 0,771) + (7,71 \times 0,044) + 30,8} = 0,1614 \times 100 = 16,14^\circ P$$

cp da mistura na mosturação

$$C_p = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{80,9}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 80,9}{100} = 0,847$$

$$H = \frac{HT}{MT} \times 100 = \frac{31,14}{38,51} \times 100 = 80,9$$

$$HT = (Mm \times Hm) + A = (7,71 \times 0,044) + 30,8 = 31,14$$

$$MT = Mm + A = 7,71 + 30,8 = 38,51$$

$$A = Mm \times Ra = 7,71 \times 4 = 30,8$$

Calor na mosturação

$$Q_{abs} = (Mm + A) \times Cp \times \Delta T = (7,71 + 30,8) \times 0,847 \times (78 - 38) = 1304,7$$

Calor de aquecimento para elevar o mosto à temperatura de fervura

$$Q_{aq} = V1 \times \rho \times Cp \times \Delta T = 1,09 \times 103,485 \times 0,926 \times (100 - 78) = 2297,9$$

Em que:

ρ - Densidade do mosto a 9,52 kg/hL = 9,2°P (kg /hL).

cp do mosto depois da extração

$$Cp = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{90,8}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 90,8}{100} = 0,926$$

Calor de evaporação na fervura

$$Q_{evap} = (V1 - Vm) \times fc \times \rho \times \lambda = (1,09 - 1,0) \times \frac{100}{1} \times 1 \times 539 = 4851,0$$

Calor total

$$QT = Q_{abs} + Q_{aq} + Q_{evap} = 1304,7 + 2297,9 + 4851,0 = 8453,6$$

Economia de calor entre os ensaios de 55/45

$$PQ = Q_{ct} - \frac{Q_c}{fd} = 8453,6 - \frac{8494,4}{2,6} = 5186,5$$

$$\%P = 100 - \frac{\frac{8494,4}{2,6} \times 100}{8453,6} = 56,8\%$$

Em que:

PQ - Poupança de calor (kcal).

Qct – Calor utilizado na cerveja controle (kcal).

Qc – Calor utilizado na cerveja concentrada (kcal).

fd – fato de diluição.

%P – Porcentagem de poupança de energia térmica (%).

Apêndice C12. Cálculo do óleo combustível poupado nas proporções estudadas

Cervejas 70/30

$$Mc = (QTc - QTe) \times fc \times fa = (8813,1 - 3974,8) \times \frac{1}{9700} \times 0.9903 = 0.49$$

Em que:

Mc - Massa de combustível poupado (kg).

QTc - Calor total utilizado na cerveja controle (Kcal).

QTe - Calor total utilizado na cerveja experimental (Kcal).

Fc - Fato de conversão (kg/kcal).

Fa - Fato de conversión a petróleo equivalente.

Cervejas 55/45

$$Mc = (QTc - QTe) \times fc \times fa = (8453,6 - 3267,1) \times \frac{1}{9700} \times 0.9903 = 0.53$$

Apêndice C13. Cálculo da energia elétrica utilizada no resfriamento

Cerveja experimental 70/30

Cálculo do calor cedido pelo mosto

$$Q_{ced1} = Vf \times \rho \times Cp \times \Delta T = 0.92 \times 106.346 \times 0.87 \times (40 - 10) = 2553,5$$

Em que:

Q_{ced1} - Calor que cede o mosto (Kcal).

V_f - Volume final do mosto (hL).

ρ - Densidade do mosto a 16.0°P (kg/hL).

C_p - Calor específico (kcal/kg °C).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

Cálculo do C_p do mosto a resfriar

$$C_p = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{84}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 84}{100} = 0.87$$

Em que:

C_p - Calor específico a pressão constante.

H - Umidade do mosto.

Cálculo do calor cedido pelo xarope

$$Q_{ced2} = V_x \times \rho \times C_p \times \Delta T = 0.08 \times 131.633 \times 0.48 \times (40 - 10) = 151,6$$

Em que:

Q_{ced2} - Calor que cede o xarope (Kcal).

V_x - Volume de xarope (hL).

ρ - Densidade do xarope a 65°P (kg/hL).

C_p - Calor específico (kcal/kg °C).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

Cálculo do C_p do xarope a resfriar

$$C_p = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{35}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 35}{100} = 0.48$$

Calor cedido total

$$Q_{cedT} = Q_{ced1} + Q_{ced2} = 2553,5 + 151,6 = 2705,1$$

Em que:

Q_{cedT} - Calor total (Kcal).

Cálculo da energia elétrica utilizada no resfriamento

$$I = Q_{Teq} \times f_c \times f_a = 1229,6 \times \frac{1}{860} \times \frac{1}{0,85} = 1,68$$

$$Q_{Teq} = \frac{Q_{cedT}}{fd} = \frac{2705,1}{2,2} = 1229,6$$

Em que:

I – Energia elétrica utilizada para o resfriamento (kw-h/hL).

QTcd - Calor cedido no resfriamento do mosto para a cerveja diluída (kcal).

Fc - Fato de conversão de kw-h a kcal.

Fa - Fato de eficiência do uso da energia elétrica.

Cerveja controle 70/30

Cálculo do calor cedido pelo mosto

$$Q_{ced1} = V_f \times \rho \times C_p \times \Delta T = 1 \times 103.814 \times 0.92 \times (40 - 10) = 2865,3$$

Em que:

Qced1 - Calor que cede o mosto (Kcal).

Vf - Volume final do mosto (hL).

ρ - Densidade do mosto a 16.0°P (kg /hL).

Cp - Calor específico (kcal /kg°C).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

Cálculo do Cp do mosto a resfriar

$$C_p = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{90}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 90}{100} = 0.92$$

Em que:

Cp - Calor específico a pressão constante.

H - Umidade do mosto.

Cálculo da energia elétrica utilizada no resfriamento

$$I = QT_{eq} \times f_c \times f_a = 2865,3 \times \frac{1}{860} \times \frac{1}{0,85} = 3,92$$

Em que:

I – Energia elétrica utilizada para o resfriamento (kw-h/hL).

QTcd - Calor cedido no resfriamento do mosto para a cerveja diluída (kcal).

Fc - Fato de conversão de kw-h a kcal.

Fa - Fato de eficiência do uso da energia elétrica.

Poupança de energia elétrica nas cervejas 70/30

$$\Delta I = 3,92 - 1,68 = 2,24 \text{ kw-h/hL}$$

Cerveja experimental 55/45

Cálculo do calor cedido pelo mosto

$$Q_{ced1} = V_f \times \rho \times C_p \times \Delta T = 0,86 \times 106,346 \times 0,87 \times (40 - 10) = 2387,0$$

Em que:

Qced1 - Calor que cede o mosto (Kcal).

Vf - Volume final do mosto (hL).

ρ - Densidade do mosto a 16.0°P (kg /hL).

Cp - Calor específico (kcal /kg °C).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

Cálculo do Cp do mosto a resfriar

$$C_p = \frac{H}{100} + 0,2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{84}{100} + 0,2 \times \frac{100 - 84}{100} = 0,87$$

Em que:

Cp - Calor específico a pressão constante.

H - Umidade do mosto.

Cálculo do calor cedido pelo xarope

$$Q_{ced2} = V_x \times \rho \times C_p \times \Delta T = 0.14 \times 131.633 \times 0.48 \times (40 - 10) = 265,4$$

Em que:

Q_{ced2} - Calor que cede o xarope (Kcal).

V_x – Volume de xarope (hL).

ρ - Densidade do xarope a 65°P (kg/hL).

C_p - Calor específico (kcal/kg °C).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

Cálculo do C_p do xarope a resfriar

$$C_p = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{35}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 35}{100} = 0.48$$

Calor cedido total

$$Q_{cedT} = Q_{ced1} + Q_{ced2} = 2387,0 + 265,4 = 2652,4$$

Em que:

Q_{cedT} - Calor total (Kcal).

Cálculo da energia elétrica utilizada no resfriamento

$$I = Q_{Teq} \times f_c \times f_a = 1020,2 \times \frac{1}{860} \times \frac{1}{0,85} = 1,4$$

$$Q_{Teq} = \frac{Q_{cedT}}{f_d} = \frac{2652,4}{2,6} = 1020,2$$

Em que:

I – Energia elétrica utilizada para o resfriamento (kw-h/hL).

Q_{Tcd} - Calor cedido no resfriamento do mosto para a cerveja diluída (kcal).

F_c - Fato de conversão de kw-h a kcal.

F_a - Fato de eficiência do uso da energia elétrica.

Cerveja controle 55/45

Cálculo do calor cedido pelo mosto

$$Q_{ced1} = V_f \times \rho \times C_p \times \Delta T = 1 \times 103.814 \times 0.92 \times (40 - 10) = 2865,3$$

Em que:

Q_{ced1} - Calor que cede o mosto (Kcal).

V_f - Volume final do mosto (hL).

ρ - Densidade do mosto a 16.0°P (kg/hL).

C_p - Calor específico (kcal/kg °C).

ΔT - Diferença de temperatura (°C).

Cálculo do C_p do mosto a resfriar

$$C_p = \frac{H}{100} + 0.2 \times \frac{100 - H}{100} = \frac{90}{100} + 0.2 \times \frac{100 - 90}{100} = 0.92$$

Em que:

C_p - Calor específico a pressão constante.

H - Umidade do mosto.

Cálculo da energia elétrica utilizada no resfriamento

$$I = Q_{Tcd} \times f_c \times f_a = 2865,3 \times \frac{1}{860} \times \frac{1}{0,85} = 3,92$$

Em que:

I – Energia elétrica utilizada para o resfriamento (kw-h/hL).

Q_{Tcd} - Calor cedido no resfriamento do mosto para a cerveja diluída (kcal).

f_c - Fato de conversão de kw-h a kcal.

f_a - Fato de eficiência do uso da energia elétrica.

Poupança de energia elétrica nas cervejas 55/45

$$\Delta I = 3,92 - 1,4 = 2,52 \text{ kw-h/hL}$$

Apêndice D. Diagrama de Produção