

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

PROJETO INTEGRADOR 2 - 2º/2015

GRUPO X

Automação do Processo de Fabricação de Cerveja

9 de setembro de 2015

Sumário

Lista de Figuras	ii
Lista de Tabelas	1
1 Introdução	2
1.1 Descrição do Problema	2
1.2 Justificativa	2
1.3 Objetivos	2
2 Cronograma e Metodologia	2
2.1 Gerenciamento da Comunicação	2
2.2 Gerenciamento do Tempo	3
2.3 Gerenciamento do Escopo	3
2.4 Gerenciamento da Qualidade	3
3 Processo de Fabricação	4
3.1 Moagem do Malte	4
3.2 Mosturação	4
3.3 Recirculação	5
3.4 Filtração	5
3.5 Fervura e Lupulagem	5
3.6 Resfriamento	6
3.7 Oxigenação	6
3.8 Inoculação do fermento	6
3.9 Maturação	8
3.10 Priming	8
3.11 Envase	8
3.12 Refermentação	9
4 Receitas	9
5 Solução Proposta	9
5.1 O que será automatizado?	9
Glossary	11

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1	Condições das enzimas	5
2	Inoculação de fermentos secos p/ 20 litros de mosto	7

1 Introdução

1.1 Descrição do Problema

1.2 Justificativa

Brassagem, recirculação, lavagem, fervura, resfriamento, fermentação e maturação, estes são os principais processos envolvidos na fabricação da cerveja. Sabe-se que esses procedimentos são simples, porém requerem atenção e paciência quando feitos manualmente. Alguns aspectos podem gerar um resultado diferente do esperado, um exemplo disso é a temperatura que deve ser respeitada rigorosamente de acordo com a receita de cada tipo de cerveja. Para obter uma menor chance de contaminação, controle mais preciso da temperatura, menor possibilidade de acidentes e qualidade no resultado final é que se pensa na automatização deste processo (Telles, 2014). Percebe-se que várias áreas estão envolvidas nestas etapas e assim é possível integrar as engenharias e aplicar as habilidades e os conceitos adquiridos no decorrer do curso para obter o produto final proposto.

1.3 Objetivos

- **Objetivo Geral:** Projetar, desenvolver e confeccionar uma mini fábrica de cerveja.
- **Objetivos Específicos:**
 - Estudar e entender os processos de fabricação de cerveja;
 - Tornar estes processos automatizados ou semi-automatizados;
 - Integrar as engenharias;
 - Desenvolver a habilidade dos participantes de trabalhar em conjunto.

2 Cronograma e Metodologia

A equipe de projeto possui 14 membros de 4 engenharias distintas, representando um desafio estratégico para definição de um escopo que integre as 4 áreas e seja corretamente encaminhado, de forma que viabilize a qualidade do trabalho, do produto e não sobrecarregue nenhum dos integrantes em suas áreas de atuação.

Para cumprir esse propósito, o grupo buscou no planejamento de projeto definido pelo PMBOK boas práticas para conduzir o trabalho, e nos princípios ágeis a coordenação da equipe com objetivos claros de circular o conhecimento entre as áreas. Foram feitos alguns dos planos de gerenciamento adotados pelo PMBOK, que se adequavam ao perfil da equipe e no contexto do projeto.

2.1 Gerenciamento da Comunicação

O plano de comunicação foi discutido na primeira reunião oficial da equipe. Foi estipulada uma reunião semanal de alinhamento nas quartas-feiras, das 16h às 18h, horário de aula da disciplina Projeto Integrador 2. Nessa reunião as decisões seriam tomadas e foi adotada uma técnica para fazer o conhecimento entre os grupos circular. Nesse espaço de tempo, cada membro do projeto pode explicar o que produziu e indicar para os demais suas restrições.

Para a comunicação casual, e diária, foi escolhida a princípio o whats app, porém, após a primeira semana de trabalho, houveram algumas necessidades em relação a divisão de grupos de trabalho e integração com outras ferramentas utilizadas pelo grupo, o que nos levou a escolha da ferramenta de mensagens instantâneas Slack, que oferece, além da comunicação em tempo real, um ambiente propício para o trabalho em equipe, colaboração e integração com diversas ferramentas tais como Trello e Google Drive que também são utilizadas pelo grupo.

2.2 Gerenciamento do Tempo

O tempo limite para término do projeto e entrega da solução é o final do semestre e da disciplina ao qual o projeto está inserido. Neste meio tempo, existem duas entregas intermediárias que serão encaradas como marcos do projeto, totalizando assim 3 entregas. As atividades e distribuição de trabalho serão baseados nos marcos definidos, ainda que eles não possuam data definida, o grupo trabalha com as estimativas fornecidas pelos professores/orientadores da disciplina.

Os seguintes processos serão desenvolvidos ao longo do semestre, com relação ao tempo:

- **Definir as Atividades:** Identificar e documentar as ações específicas a serem realizadas para produzir as entregas do projeto.
- **Sequenciar as Atividades:** Identificar e documentar os relacionamentos entre as atividades do projeto.
- **Estimar as Durações das Atividades:** Estimar o número de períodos de trabalho que serão necessários para terminar atividades específicas com os recursos estimados.
- **Desenvolver o Cronograma:** Analisar as sequências das atividades, suas durações, recursos necessários e restrições do cronograma visando criar o modelo do cronograma do projeto.
- **Controlar o Cronograma:** Monitorar o andamento das atividades do projeto para atualização do seu progresso e gerenciamento das mudanças feitas na linha de base do cronograma para realizar o planejado.

2.3 Gerenciamento do Escopo

A definição do escopo será definida pelos membros da equipe de projeto, sob a orientação dos professores da disciplina. As decisões estratégicas serão tomadas em equipe, nas reuniões de alinhamento semanais. O processo para a definição do escopo segue os seguintes passos:

- Pesquisa conceitual
- Estudo de viabilidade
- Alinhamento da proposta com o planejamento estratégico
- Votação

2.4 Gerenciamento da Qualidade

Existe uma complexidade inerente à este projeto que se revela no caráter integrador das diferentes engenharias. A condução do projeto pode se perder nas dificuldades e restrições técnicas de cada equipe, portanto, é importante que se observem alguns princípios de gestão, a fim de que o trabalho possa fluir de forma natural dentro do processo de desenvolvimento.

Para assegurar a qualidade do processo de desenvolvimento com expectativas que o produto final seja impactado pela qualidade do processo, se trouxe das metodologias ágeis algumas práticas de gestão. Os princípios abordados são os de integração da equipe de projeto.

Desta forma, foi estipulado que em todas as reuniões semanais de alinhamento cada membro do grupo teria uma atividade e fosse avaliado pelo grupo inteiro na próxima semana, indicando o valor agregado da sua participação dentro do projeto.

Cada membro do grupo deve dar uma nota a si mesmo, variando de 0 a 5, de acordo com o seu desempenho naquela semana do projeto.

Os membros do grupo que trabalharam com aquele participante podem intervir, avaliando o colega pelo que acreditam que tenha sido a contribuição dele no projeto aquela semana.

Por ultimo, algum membro do projeto pode intervir, indicando uma nota para aquele membro do projeto, caso julgue necessário.

3 Processo de Fabricação

3.1 Moagem do Malte

O malte é enviado para os moinhos que possuem como função promover um corte na casca e então liberar o amido para o processo. A moagem também promove a diminuição do tamanho da partícula do amido, ocasionando um aumento na velocidade de hidrólise do amido.

3.2 Mosturação

Os maltes moídos são colocados na panela de mostura e misturados com água aquecida à temperatura de 70°C (não deixar formar grumos), a temperatura abaixa naturalmente para 66°C, deve-se cessar o aquecimento e deixar o mosto em repouso por 60 minutos com a panela tampada, durante esse período se a temperatura baixar para menos de 64°C deve-se aquecer novamente e mexer até atingir 66 °C. Toda vez que se aquecer a mistura deve-se agitar, para obter uma leitura mais precisa no termômetro. Atingindo a temperatura, é importante que a temperatura não ultrapasse 72°C, pois em altas temperaturas as enzimas são inativadas. As enzimas contidas no malte são liberadas para o meio e sob ação de calor são ativadas para promover a hidrólise catalítica do amido.

Antes de completar os 60 minutos deve-se fazer o teste de iodo, pingar algumas gotas da mostura sobre um azulejo branco ou prato de porcelana também branco. Após pegue o frasco do iodo 2% e pingue 1 gota sobre o mostura que foi colocado no azulejo. Se a coloração for amarela ouro, após os 60 minutos, prosseguir com a receita aquecendo até 75°C. Se ainda estiver apresentando vestígios ou até coloração forte de uma “cor marrom escuro” a mostura deverá ficar mais alguns minutos na temperatura de 66°C.

Após estes 60 minutos elevar a temperatura para 75°C em 5 minutos sempre agitando. A temperatura não deve subir bruscamente. Se após este tempo permanecer a cor marrom escuro interromper o processo. As causas desse problema podem ser:

- Falhas na moagem do malte.
- Termômetro descalibrado.
- Temperatura da mostura subiu no início da mostura, acima dos 75°C o que desativou as enzimas.

Em 75°C deixar descansando mais 10 minutos com a panela tampada.

O objetivo da mosturação é otimizar o rendimento de extração, ter produtividade máxima (n° fabricações/dia) e custos operacionais mínimos (energia e pessoal).

Fatores que afetam a ação enzimática

A concentração da mostura

A degradação enzimática do amido é feita na mosturação, o amido pode ser degradado pelas amilases:

- α -amilase: endoenzima e
- β -amilase: exoenzima.

Não pode haver ação enzimática sem água, a proporção enzima/substrato influi no resultado da ação das enzimas. Quanto menor a proporção água: malte, melhor a ação de proteases e β -amilase e pior a ação de α -amilase

Tempo de Mostura

A mosturação demora cerca de 60 minutos, podendo ser maior ou menor depende da quantidade de amido consumido nesse período.

A atividade enzimática depende da temperatura a qual o mostura está sendo mantido, No início do processo a atividade enzimática é maior devido à alta concentração de amido.

Temperatura de Mostura

É necessário controlar a temperatura pois em altas temperaturas as enzimas são inativadas.

pH da mostura

Condições ótimas das enzimas:

Tabela 1: Condições das enzimas

Enzima	Atuação	pH Ótimo	Temperatura Ótima
α -amilase	Decomposição do amido em dextrinas	5,6 - 5,8	70-75
β -amilase	Decomposição do amido em maltose	5,6 - 5,8	60-65

Qualidade do malte

Quanto melhores dissoluções citolítica/ proteolítica, menor será o tempo de processo (produtividade maior) e o Custo operacional.

Composição da moagem

3.3 Recirculação

Pode ser feita manualmente abra-se a torneira devagar e despeje o conteúdo em recipiente. Devolva o mosto a panela utilizando uma escumadeira. O “chuveiro” evitará que o líquido remexa o sedimento de malte que se formará no fundo. Repita o processo até não haver mais partículas em suspensão.

3.4 Filtração

A filtração consiste na separação do mosto (parcela líquida) do bagaço (parcela sólida). O objetivo desta separação é a obtenção do máximo em extrato do malte sacarificado.

Um mosto clarificado é uma condição necessária para se obter uma cerveja de boa qualidade.

Há várias maneiras de filtrar a mostura, passar a mostura (malte + água) através de um saco branco duplo. Este saco deve estar bem limpo e esterilizado com água quente, poderá se utilizar uma panela com um fundo falso, deve-se colocar água a 75°C no fundo da panela até começar a sair pelos furos do fundo falso.

Para facilitar a extração do açúcar residual contido ainda no bolo de bagaço, adicione água a 75°C e depois misture com o mosto já filtrado.

No caso do uso de um saco branco após filtrado o primeiro mosto, adiciona-se água a 75°C em uma só vez. Misturar todo o mosto contido na panela de fervura que deverá ficar com densidade de 1.044.

3.5 Fervura e Lupulagem

O processo da fervura é necessário para desenvolvimento de sabores e coagulação de proteínas, assim, a etapa, em média, dura no mínimo 60 minutos. Durante o processo, ocorre também a adição de lúpulo que influencia em três características a cerveja: amargor, aroma e sabor. A determinação destas características depende do tempo da fervura em que o lúpulo é adicionado, uma vez que a extração de suas propriedades varia de acordo com o tempo e que ocorre a fervura. Além destas características, o lúpulo atua na estabilidade da espuma e como conservante natural.

De forma simples e geral, a adição de lúpulo segue as seguintes fases (em fervura de tempo mínimo de 60 minutos):

- Para maior obtenção de amargor, o lúpulo é adicionado no início da fervura;
- Para maior obtenção de sabor, o lúpulo é adicionado na metade do tempo de fervura;

- Para maior obtenção de aroma, o lúpulo é adicionado ao final da fervura, ou quando esta já se encerrou.

Ressalta-se que o lúpulo confere as medidas de amargos, sabor e aroma.

Para adicionar o lúpulo, normalmente conta-se a adição com base no tempo que resta para terminar fervura

Para contagem de tempo, observa-se o início de fervura de maneira vigorosa.

3.6 Resfriamento

O resfriamento do mosto pode ser considerado como uma das etapas críticas no processo de produção, uma vez que é elevada a possibilidade de contaminação.

Ao resfriar, a grande quantidade de açúcares presentes no mosto o torna um excelente meio de cultura para as leveduras que serão adicionadas para fermentar a cerveja, bem como as leveduras selvagens que estão presentes no ar e nos equipamentos utilizados. Por isso, à medida que o mosto é resfriado é necessário tomar cuidado para minimizar o risco de contaminação.

A etapa de resfriamento deve acontecer o mais rapidamente possível. Quanto menor o tempo de resfriamento, melhor. Isto porque o quanto antes o mosto atingir a temperatura de fermentação, mais rápido ocorre a transferência para o fermentador e consequente diminuição das chances de contaminação.

Ao deixar simplesmente a panela tampada e esperar o mosto esfriar em temperatura ambiente, ocorrerá formação de sabores indesejáveis na cerveja, pois em alta temperatura e com baixa taxa de resfriamento, compostos diferentes serão gerados e não evaporados, que acarretará em sabores indesejáveis.

É importante também não mexer no mosto enquanto ocorre resfriamento.

A temperatura máxima ideal para fim de resfriamento é de 30°C. Esta temperatura evitará a inutilização do fermento ou que ocorra início de fermentação muito vigoroso.

3.7 Oxigenação

A oxigenação do mosto é um fator importante para as leveduras e obtenção de uma fermentação adequada. O oxigênio contido no mosto é absorvido pelo fermento dentro das primeiras duas horas de inoculação e é o único momento em que a oxigenação é necessária. O fermento utiliza o oxigênio como nutriente e também para se reproduzir nas primeiras horas de fermentação. O nível de oxigênio recomendado no mosto é de 8 a 12 ppm.

3.8 Inoculação do fermento

Um das etapas de maior importância dentro da produção de cerveja é a fermentação, que consiste na obtenção de energia (açúcares) por parte das leveduras (fungos) produzindo etanol e CO₂.

Existem diversos tipos de leveduras, cerca de 700 espécies, porém para serem utilizadas na produção da cerveja devem possuir alto grau de consumo de açúcares fermentescíveis, (glicose, maltose e maltotriose) para garantirem a produção de etanol e subprodutos que conferem gostos e aromas desejáveis. Além disso as leveduras devem ser adaptadas a PH baixo para redução do risco de contaminação, tendo em vista que ambientes mais ácidos são propícios a proliferação de bactérias.

Na produção de cerveja existem dois tipos de leveduras: as de alta fermentação (ALE) e as de baixa fermentação (LAGERS). Na produção da Ale, a fermentação é realizada na parte superior do tanque de armazenamento, com temperaturas mais altas, em torno de 19 e 24°C. Já na Lager, o processo ocorre em temperaturas mais baixas, entre 8 e 12°C, fazendo com que a fermentação aconteça perto do fundo do tanque de fermentação. Portanto, para a inoculação do fermento é necessário conhecer a levedura utilizada pois o processo difere para cada um dos casos.

Antes de acrescentar a levedura a densidade do mosto deve ser medida para análise do rendimento da brassagem e para o cálculo de quantidade de células necessárias no processo. Esse cálculo é realizado segundo o livro “*An Analysis of Brewing Techniques*” em que:

Tabela 2: Inoculação de fermentos secos p/ 20 litros de mosto

[illegible]

OBS:

- A situação do fermento é caracterizada por diversos fatores como armazenagem, validade e manejo.
- A tabela contém algumas aproximações

Além disso, o mosto deve passar por um processo de oxigenação para que o processo de fermentação ocorra de maneira eficiente através da multiplicação das leveduras num primeiro momento. Geralmente isso é realizado agitando o mosto a fim de formar bolhas de oxigênio.

A levedura é então dissolvida em água (respeitando a temperatura indicada para cada tipo de levedura) para que depois possa ser adicionada ao mosto.

Fermentação

A próxima etapa consiste na adição da levedura onde o processo de fermentação se inicia. Após a adição, é necessário anexar uma válvula air-lock ao mosto para que não haja entrada de oxigênio ou agentes contaminantes, mas que haja saída de gás carbônico produzido pelas leveduras.

Nesta etapa é muito importante realizar o controle de temperatura para que a fermentação obtenha os resultados esperados.

A fermentação ocorre em 3 fases:

Respiração

Também conhecido como “Lag time”. É nessa fase que o fermento se reproduz até atingir sua massa crítica e passar para a segunda fase, a fermentação. Essa fase deve ser minimizada para que seja possível evitar a invasão por bactérias que possam prejudicar o processo. Uma boa sanitização e inoculação (hidratação/ativação) correta da levedura são partes essenciais.

Fermentação

Nesta fase ocorre a transformação de açúcares presentes no mosto em CO₂ e álcool. Para saber se sua fermentação está ocorrendo basta conferir se há bolhas no air-lock.

Sedimentação

Acontece quando o nível de açúcar começa cair e o fermento começa a decantar para a parte inferior do fermentador. O tempo necessário para que a fermentação acabe depende do tipo de levedura, da temperatura utilizada.

3.9 Maturação

Após a fermentação principal, a agora então chamada cerveja, que ainda possui uma suspensão de leveduras e uma parte de material fermentescível, passa por uma fermentação secundária, chamada maturação. Geralmente esta etapa do processo é realizada sob temperaturas mais baixas, próximas à zero, e pode levar até 21 dias, o que contribui para clarificação da cerveja e melhora de seu sabor e aroma.

Nesta etapa o líquido é separado do fermento, que neste ponto está ao fundo do fermentador.

3.10 Priming

Ao final da maturação, separa-se o líquido fermentado dos resíduos de fermento decantados no reservatório transferindo-o para outro reservatório. Com isso, a mistura principal estará pronta para receber o Priming, que consiste numa mistura de água com algum tipo de açúcar, que pode ser glicose, sacarose, dextrose, mel entre outros tipos de açúcar. Comumente utiliza-se açúcar invertido, produzido utilizando açúcar cristal ou refinado.

Este processo serve para que ocorra uma refermentação da cerveja em seu vaso final, para que a levedura possa produzir a partir deste açúcar mais álcool (nesta fase em quantidade insignificante para a medição de teor alcoólico da cerveja) e o gás carbônico, que vai gaseificar a cerveja.

Para que seja preparado necessário saber quantos litros de cerveja serão produzidos, normalmente o Priming é produzido fervendo-se de aproximadamente 6g de açúcar (cristal ou refinado) em 150ml de água para cada litro de solução de cerveja. Esta mistura é fervida até que fique vire uma calda homogênea e, após isso, esta mistura formada é adicionada no reservatório da cerveja e misturada.

3.11 Envase

Após o processo de Priming, a cerveja está pronta para ser envasada, para isso utiliza-se garrafas de vidro com tampas de metal, ou a cerveja é envasada num barril, em ambos os casos para a refermentação. Porém antes que a passagem da cerveja seja feita do reservatório onde aconteceu o Priming para seu recipiente final (garrafa ou barril), é necessário que este seja devidamente higienizado e sanitizado.

Higienização

No caso das garrafas, a higienização é feita com água e um escova simples que chegue ao fundo da garrafa para que sejam retiradas qualquer tipo de detrito, tanto do fundo quanto das bordas. No caso de um barril, o processo é o mesmo, porém utiliza-se uma escova maior para higienizar as laterais e o fundo.

Sanitização

Normalmente a sanitização dos recipientes é feita com ácido peracético (C₂H₄O₃), diluído em água a uma proporção de 0,2% de ácido peracético por litro de água. Essa proporção é normalmente alcançada utilizando-se ácido peracético em pó, comercializado como desinfetante para alimentos, superfícies e utensílios em geral.

Um exemplo é o PAC 200, um desinfetante em pó à base de ácido peracético bastante utilizado por cervejeiros artesanais. Para que chegue à concentração indicada de 0,2% de ácido por litro de água, devem ser diluídos 1g de produto para cada litro de água. Essa mistura consegue sanitizar um utensílio removendo até 99,9% das bactérias em cerca de 20 minutos de contato. Neste tipo de solução o utensílio deve ser submerso ou preenchido com a solução não necessitando um enxague posterior, somente que seja escoado todo o líquido.

3.12 Refermentação

Após o envasamento da cerveja ela deve ser deixada por aproximadamente 10 a 15 dias fechada no recipiente final para que ocorra a refermentação, que nada mais é que um novo processo de fermentação, só que agora em temperatura ambiente, da cerveja para que sejam liberados álcool (em quantidade insignificante para a medição de teor alcoólico da cerveja) e gás carbônico (CO₂) que será responsável pela carbonatação (ou gaseificação) da cerveja no recipiente.

4 Receitas

Ingredientes para 10 litros de cerveja:

- 20 litros de água
- 2 Kg de malte Pale Ale
- 0,5 Kg de malte Minich
- 30 g de lúpulo Centennial
- Levedura Fermentis S-04

5 Solução Proposta

5.1 O que será automatizado?

O processo de fabricação da cerveja exige um fino controle de variáveis do sistema tal como temperatura, tempo e nível dos líquidos. Assim sendo, a produção de cerveja artesanal esbarra em dificuldades de controle os quais podem ser resolvidos com a ajuda da engenharia, automatizando processos e etapas inteiras da produção da cerveja. Cada etapa da produção possui temperatura específica, que pode variar de acordo com o tipo de cerveja, e outras variáveis que devem ser mantidas constantemente sob controle para que o produto final tenha aspecto e a qualidade desejada.

A fim de se obter um maior controle de qualidade e facilidade na produção, as seguintes etapas são passíveis de serem monitoradas e controladas:

Brassagem

- Aumentar a temperatura até chegar a 70 graus;
- Controlar a temperatura de 70 graus por determinado tempo;
- Aumentar a temperatura de 70 para 78 e manter;
- Adição do malte;
- Filtragem;

Fervura

- Aumentar a temperatura de 78 para 100 graus;
- Adicionar o lúpulo;
- Controlar o tempo de fervura.

Resfriamento

- Diminuir a temperatura para a temperatura ambiente;
- Filtragem do lúpulo;
- Oxigenação.

Fermentação

- Adicionar a levedura;
- Teste de densidade;
- Liberar CO_2 sem receber O_2 .

As imagens a seguir ilustram as temperaturas dos processos e as ações que devem ser tomadas em cada etapa.

.