



Projeto Ciência e Tecnologia Aplicada: Cerveja Artesanal

Arthur Barros Moreira Dos Santos / arthur.bms4ntos@gmail.com

João Vitor Muniz Cipriano / joao.vmcipriano@senacsp.edu.br

Kayky Ferreira Chaves / kaykych4ves@gmail.com

Kevyn Alexandre Barrozo Valentim / kevyn.a.b.v@gmail.com

Lucas Martins Marques / lucas.marques03@hotmail.com

Professores: WAGNER LUDESCHER, RAFAEL SANTOS PEREIRA, ADRIANO CAMARGO DE LUCA

São Paulo, 2025

Resumo: Este trabalho descreve um projeto integrador desenvolvido no curso de Engenharia de Produção, que consistiu na fabricação completa de uma cerveja artesanal, da seleção dos ingredientes até o envase final. Com o objetivo de garantir maior controle e eficiência durante o processo da produção da cerveja, foi desenvolvido um sistema utilizando Arduino, sensores e um controlador térmico ligado a um fogão elétrico como uma forma de relê, com um sensor em uma haste de cobre, ou seja, chegando a tal temperatura setada o fogão elétrico desliga/liga. A automação foi aplicada principalmente no controle da temperatura, etapa essencial para a qualidade da extração da fermentação e, conseqüentemente, da cerveja final. O projeto nos ajudou a ter conhecimentos de processos industriais como a automação, controle de qualidade e gestão de produção, proporcionando uma aplicação prática dos conceitos aprendidos ao longo do projeto.

Palavras-chave: Produção, Arduino, Cerveja, Projeto, Engenharia

Sumário

1. Introdução	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Produção da Cerveja Artesanal	4
2.2 Controle de Temperatura no Processo de Brassagem	6
2.3 Automação no Controle de Temperatura	6
2.4 Relação com a Engenharia de Produção.....	8
3.0 PLACA DE CIRCUITO (HW e SW).....	8
3.1 Resumo	8
3.2 Introdução.....	9
3.3 Corte a Laser	9
3.4 Corrosão	9
3.5 Furação.....	9
3.6 Soldagem	10
3.7 Código.....	11
4. Edge Impulse aplicado à verificação de garrafas	12
5. Discussão e Conclusão	14
6. Referências	14

1. Introdução

A automação está cada vez mais presente nas indústrias, ajudando a tornar os processos mais eficientes e padronizados. No caso da produção da cerveja artesanal, controlar bem a temperatura em cada etapa é fundamental para garantir um bom resultado no final. Pensando nisso, esse projeto integrador foi desenvolvido com o objetivo de simular, de forma prática, como seria esse processo dentro de uma fábrica, utilizando conceitos aprendidos durante o aprendizado do curso.

O maior desafio foi montar todo o sistema do zero, desde a estrutura até a parte de automação. Para isso, usamos um Arduino junto com sensores de temperatura e um controlador térmico ligado a um fogão elétrico. Esse sistema foi programado para ligar e desligar o aquecimento automaticamente, conforme a temperatura desejada, o que ajudou bastante a manter o processo mais estável.

O principal objetivo do projeto foi alcançar precisão no controle da temperatura durante a produção da cerveja, especialmente na etapa da brassagem. A justificativa da ideia está em mostrar como a automação pode ser aplicada mesmo em pequenas produções, melhorando a eficiência, reduzindo erros e aproximando a prática da realidade de uma linha de produção industrial.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Produção da Cerveja Artesanal

A produção de cerveja artesanal vem crescendo bastante no Brasil nos últimos anos. Diferente das cervejas industriais, a artesanal se destaca por ter mais qualidade nos ingredientes, sabores diferenciados e mais liberdade na criação da receita. Além disso, ela permite que o processo todo seja feito de forma mais manual, o que ajuda muito no aprendizado prático de várias áreas, como a engenharia.

No nosso projeto, a cerveja escolhida foi uma Belgian Blond Ale, um estilo clássico da Bélgica. Ela tem uma cor dourada, teor alcoólico médio e um sabor bem equilibrado, com um leve toque frutado e um pouco de especiarias. É uma cerveja que agrada bastante e tem um visual bonito, o que também foi um fator positivo na escolha.

Seguindo uma receita passada por cervejeiros parceiros, fizemos todas as etapas do processo de produção, começando pela moagem do malte e terminando com o envase da cerveja. A receita rendeu cerca de 3 litros. Abaixo, explicamos as etapas que seguimos:

Primeiro, aquecemos a água até 42 °C;

Depois, adicionamos o malte e deixamos estabilizar por **10 minutos**;

Subimos a temperatura para **50 °C** e mantivemos por mais **10 minutos**;

Em seguida, subimos para **66 °C** e deixamos por **1 hora**, fazendo o **teste de iodo** — esse teste serve para verificar se o amido do malte foi totalmente convertido em açúcar pelas enzimas;

Aumentamos a temperatura para **78 °C** por mais **10 minutos** (etapa chamada de *mash out*);

A fervura foi feita por **60 minutos**, com algumas adições importantes:

No início, colocamos **8g de lúpulo Tettnang**;

Aos 15 minutos, foi adicionado **0,75g de açúcar**;

Faltando 5 minutos para o fim da fervura, colocamos **3g de casca de laranja** e **2g de semente de coentro**.

Depois da fervura, resfriamos o mosto, transferimos para o fermentador e deixamos fermentar por **cerca de um mês**. Ao final desse período, fizemos o envase da cerveja.

Para aprender todo o processo e garantir que tudo fosse feito corretamente, usamos vídeos do YouTube e livros sobre produção de cerveja artesanal. foi uma experiência muito boa, pois conseguimos aplicar na prática conhecimentos sobre processos produtivos, controle de qualidade e organização.



Figura 1. [Resfriamento da Cerveja]

2.2 Controle de Temperatura no Processo de Brassagem

Durante o processo de brassagem, o controle de temperatura é uma etapa essencial para garantir que a cerveja artesanal tenha o resultado desejado. Nessa fase, o calor precisa ser aplicado de forma precisa, seguindo as temperaturas definidas na receita, para que os açúcares sejam corretamente extraídos dos grãos maltados. Esses açúcares são fundamentais para a fermentação e, conseqüentemente, para o sabor, corpo e teor alcoólico da cerveja.

No nosso projeto, enfrentamos alguns desafios nesse ponto, principalmente porque o fogão elétrico que usamos demorava bastante para atingir as temperaturas necessárias. Isso exigia atenção constante, pois qualquer variação além do ideal poderia comprometer a qualidade final da bebida. Se a temperatura ficasse muito baixa, a conversão dos amidos poderia não ocorrer totalmente. Já se ficasse muito alta, poderia inativar as enzimas responsáveis por essa conversão, afetando diretamente a eficiência do processo.

Para verificar se a extração estava acontecendo da forma correta, utilizamos o teste de iodo. Esse teste simples, mas eficaz, mostra se ainda há amido presente no mosto. Quando o resultado indica que todo o amido foi convertido em açúcar, sabemos que o processo foi bem-sucedido e podemos seguir para a próxima etapa.

Foi justamente por essa necessidade de precisão que decidimos automatizar o controle de temperatura com o Arduino, algo que detalharemos mais à frente. A automação nos ajudou a manter o processo mais estável, permitindo alcançar a temperatura certa com mais facilidade e garantindo que a cerveja segue o perfil desejado da receita.

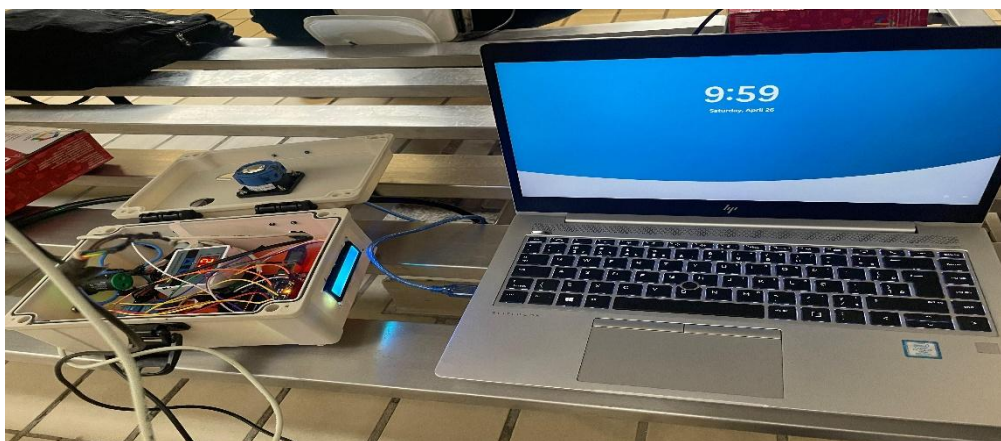


Figura 2 [Caixa de controle de temperatura conectada no PC]

2.3 Automação no Controle de Temperatura

A decisão de automatizar o controle de temperatura durante o processo de brassagem surgiu da necessidade de garantir maior precisão e estabilidade térmica. Em um processo artesanal, como o que desenvolvemos, qualquer variação fora das faixas ideais pode comprometer

diretamente a conversão dos açúcares fermentáveis, afetando o sabor, o corpo e a eficiência da fermentação. Por isso, controlar o aquecimento com exatidão é um fator determinante para a qualidade final da cerveja.

Na prática, notamos que o fogão elétrico utilizado demorava para atingir as temperaturas desejadas e não mantinha o calor de forma estável. Isso exigia atenção constante e intervenção manual, o que tornava o processo mais demorado e sujeito a erros. A automação surgiu, então, como uma solução para aumentar a confiabilidade do processo e permitir que a temperatura fosse mantida automaticamente dentro das faixas programadas, reduzindo as chances de erro humano.

Do ponto de vista técnico, a automação permite que sensores monitorem continuamente a temperatura do mosto e que o sistema de aquecimento seja acionado ou desligado conforme necessário. Esse tipo de controle em malha fechada é amplamente utilizado na indústria, mas também traz grandes benefícios para produções de menor escala. Em processos pequenos, como o nosso, ela proporciona um ganho de eficiência significativo com um investimento relativamente baixo, além de oferecer uma excelente oportunidade de aprendizado prático em automação e controle de processos.

Além de aumentar a precisão térmica, a automação contribui para a repetibilidade do processo ou seja, a capacidade de produzir diferentes lotes com características semelhantes. Isso é especialmente importante para manter a qualidade do produto. A aplicação de tecnologias acessíveis, como o Arduino, permite que mesmo produções artesanais tenham acesso a recursos antes limitados à indústria, tornando o processo mais profissional e eficiente.

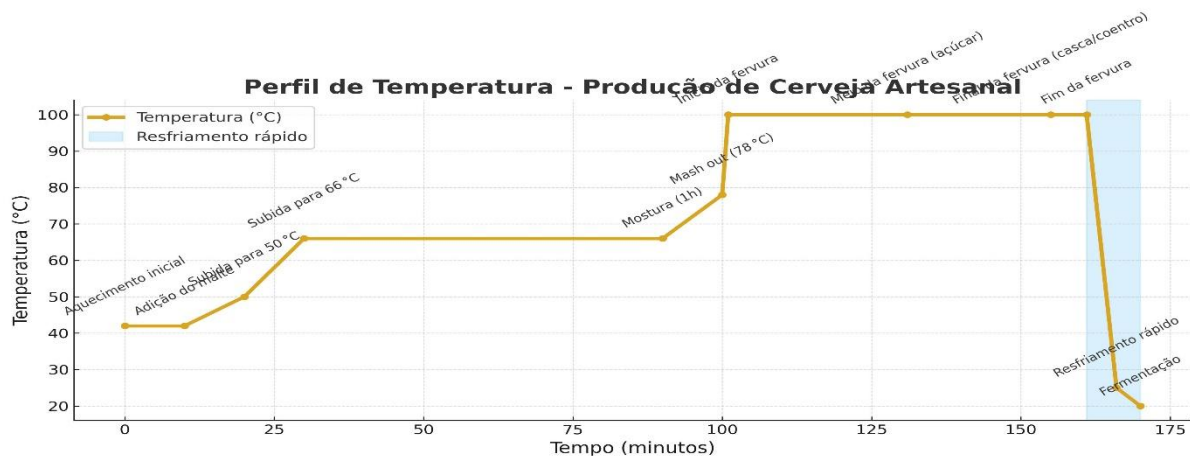


Figura 4 [Gráfico da Temperatura da Cerveja]

2.4 Relação com a Engenharia de Produção

Este projeto permitiu aplicar, de forma prática, diversos conceitos estudados na Engenharia de Produção, especialmente no que se refere ao controle de processos, padronização e otimização de atividades. Ao automatizar o controle de temperatura na etapa de brassagem, foi possível garantir maior precisão e estabilidade, o que contribuiu para um processo mais eficiente e com menor margem de erro. Essa ação está diretamente ligada ao conceito de controle de processo, que busca manter as variáveis dentro de padrões previamente definidos.

A padronização também foi um ponto importante. Com o uso do Arduino, as etapas puderam ser repetidas com maior consistência, o que facilita a obtenção de resultados semelhantes em futuras produções. Essa repetibilidade é essencial quando se busca qualidade e previsibilidade no ambiente produtivo, mesmo em projetos de pequena escala.

Outro aspecto relevante foi a organização do processo como um todo. Ao estruturar as etapas da produção e buscar soluções para as dificuldades encontradas, como o controle térmico manual, foi possível aplicar os princípios da melhoria contínua — um conceito central na Engenharia de Produção. Com ajustes simples, conseguimos otimizar o processo, reduzir falhas e melhorar o aproveitamento do tempo e dos recursos.

Por fim, o projeto representou uma oportunidade importante de integrar teoria e prática. A construção e aplicação do sistema automatizado exigiram o uso de conhecimentos adquiridos em disciplinas como gestão de processos, automação, qualidade e organização do trabalho. Essa experiência prática reforçou a importância da Engenharia de Produção como uma área voltada para a solução de problemas reais, com foco na eficiência, qualidade e inovação.

3.0 PLACA DE CIRCUITO (HW e SW)

3.1 Resumo

Realizamos uma placa de circuito para um controlador de temperatura, com o objetivo de ajustar a temperatura no cozimento da cerveja onde é o nosso projeto. Para conseguir esse feito, primeiramente foi preciso várias etapas para a fabricação da placa, no qual é o foco desse artigo.

3.2 Introdução

Em nosso projeto de realizar a cerveja, foi preciso produzir um controle de temperatura, com objetivo de ajustar a temperatura a cada momento do cozimento da cerveja, para esse feito, primeiramente precisávamos fazer a placa de circuito, utilizando uma placa de cobre e diversos componentes.

3.3 Corte a Laser

Para produzir a placa, o professor Wagner disponibilizou chapas de cobre para a sala, no mesmo dia a lixamos para posteriormente a levarmos para o corte a laser, a fim de que, fique no tamanho correto e com os traços condutores para os componentes. Para fazer o corte, o professor Wagner disponibilizou a turma o arquivo feito no programa Kicad, que tinha o modelo da placa, sincronizado com o arquivo PCB, onde tinha as especificações de trilhas, vias e as conexões necessárias para cada componente. A partir dessa junção, modificamos o arquivo para dxf, para que a máquina consiga ler o arquivo

3.4 Corrosão

Após a etapa do corte a laser, precisávamos criar as trilhas e vias demarcadas, para isso foi necessário remover a parte indesejável de cobre e retiramos as impurezas da placa para não ter curto-circuito ou problemas no funcionamento, para esse feito, utilizamos uma tigela com um agente corrosivo chamado percloro de ferro, onde mergulhamos a placa e a levemente balançamos por média de 10 a 20 minutos. Com isso ela já estava pronta para a furação.

3.5 Furação

Na parte da furação, utilizamos uma morsa e uma furadeira de bancada, movimentando-a de acordo com a necessidade. Para esse feito, utilizamos de consulta a foto abaixo para saber onde cada furo seria feito.

3.6 Soldagem

Com os furos feitos, limpamos a placa com álcool para a solda ter aderência, e após isso, começamos o processo de solda. Primeiramente aplicamos solda em todas as trilhas, a fim de ter um melhor funcionamento entre os componentes. Depois fomos para a soldagem dos componentes, são eles: – 1 Arduino Uno;

- 1 Sensor de temperatura LM35;
- 1 Fio encapado de 3 vias;
- 1 LCD 16x2 com módulo I2C;
- 1 Optoacoplador 4N25;
- 1 Optoacoplador MOC3021;
- 1 Dissipador de calor em alumínio;
- 3 Resistor 33K Ohm 1W;
- 1 Resistor 180 Ohm 1W;
- 1 Resistor 330 Ohm 1/8W;
- 2 Resistores 1K Ohm 1/8W;
- 1 Resistor 10K Ohm 1/8W;
- 4 Diodos 1N4007;
- 1 Capacitor 10nF 400V
- Poliéster;
- 1 Soquete Barra de Pinos 1x40 MCI 180 Graus Passo 2,54mm;
- 1 Barra de Pinos 1x40 vias 15mm 180 Graus Passo 2,54mm.

3.7 Código

O código desenvolvido para este projeto tem como objetivo automatizar o controle de temperatura do fogão elétrico utilizado na etapa de brassagem da cerveja artesanal. O sistema é baseado no microcontrolador Arduino Uno e integra sensores, botões de ajuste, um relé (acionado via TRIAC) e um display LCD para feedback em tempo real.

Inicialmente, o código configura o display LCD com interface I2C, os pinos dos botões de incremento e decremento do setpoint (temperatura desejada) e o pino de controle da carga (fogão elétrico). A variável setpoint, define a temperatura alvo, que pode ser ajustada manualmente pelos botões conectados aos pinos digitais 8 e 9. Um sistema de debounce foi implementado para evitar leituras falsas causadas por ruído mecânico nos botões.

A leitura da temperatura é realizada por um sensor analógico (LM35), conectado à entrada analógica A2. A função GetTemp() realiza cinco leituras consecutivas e calcula a média, convertendo o valor analógico para graus Celsius.

Para o acionamento do fogão, o sistema utiliza uma lógica baseada na detecção de passagem por zero (zero-cross detection), típica de sistemas com controle de carga em corrente alternada. A interrupção externa no pino 3 é associada à função zero_crossss_int(), que calcula o tempo de atraso necessário para disparar o TRIAC com base na potência desejada (power), regulando assim a quantidade de energia entregue ao fogão elétrico.

O controle de temperatura em si é feito pela função PID(), que, embora não implemente um controlador PID clássico, utiliza uma lógica proporcional simplificada. O valor de power é ajustado conforme a diferença entre a temperatura medida (tempC) e o setpoint, com níveis definidos por faixas (maior que 10 °C, entre 5 °C e 10 °C, entre 2 °C e 5 °C, e menor que 2 °C), possibilitando um controle térmico mais eficiente.

Durante o funcionamento, o display LCD exibe em tempo real a temperatura atual (Ta), o setpoint configurado (Ts) e o nível de potência aplicado ao fogão (Power), permitindo acompanhamento visual do processo pelo operador.

Esse sistema contribuiu de forma significativa para a estabilidade térmica durante a brassagem, reduzindo a necessidade de intervenção manual e aumentando a precisão do processo, aspectos fundamentais para garantir a qualidade da cerveja produzida.

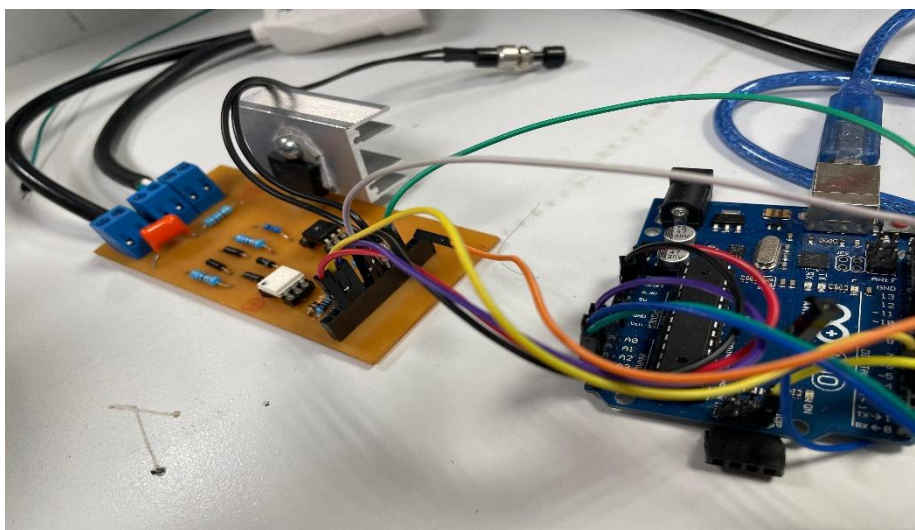


Figura 5 - [Placa ligada ao Arduino]

4. Edge Impulse aplicado à verificação de garrafas

Durante o desenvolvimento do projeto, foi utilizado o Edge Impulse como uma ferramenta auxiliar para criar um sistema capaz de reconhecer, por meio de imagens, se uma garrafinha estava cheia ou vazia. A esteira construída no projeto teve como função principal realizar o enchimento automático dos potes, utilizando sensores para controlar o momento certo de iniciar e parar o fluxo do líquido. Esse processo foi totalmente automatizado, mas não envolvia câmeras acopladas à esteira nem inspeção visual durante o funcionamento.

A câmera foi utilizada de forma separada, fora da linha da esteira, apenas para **registrar imagens dos potes** depois que passaram pelo processo de enchimento. Essas imagens foram fundamentais para montar um conjunto de dados que pudesse ser analisado dentro da plataforma Edge Impulse. Foram capturadas diversas fotos de garrafinhas em dois estados diferentes: algumas completamente cheias e outras totalmente vazias. Cada uma dessas

imagens foi rotulada de acordo com a sua condição, formando a base de conhecimento necessária para o sistema aprender a identificar as diferenças entre elas.

Depois que todas as imagens foram organizadas e enviadas para o ambiente online do Edge Impulse, a plataforma foi usada para montar um sistema de reconhecimento simples, que pudesse dizer, ao observar uma nova imagem, se o pote estava cheio ou não. Esse tipo de reconhecimento é muito útil para testes ou futuras aplicações em que se deseja verificar o estado de um produto de forma rápida e automática, sem a necessidade de observação humana.

Embora o sistema construído não tenha sido integrado diretamente com a esteira ou com sensores de imagem em tempo real, o uso do Edge Impulse foi importante para entender como é possível aplicar esse tipo de tecnologia no apoio à **verificação da qualidade** de um processo. Em projetos futuros, o mesmo modelo pode ser adaptado para funcionar em conjunto com câmeras instaladas na linha de produção, permitindo detectar erros automaticamente, como potes que não foram preenchidos corretamente ou que apresentem falhas.

A Figura 5 apresenta um exemplo das imagens registradas durante os testes, com os potes posicionados manualmente para simular o cenário da esteira.



Figura 5 - [Esteira com potes]

5. Discussão e Conclusão

O desenvolvimento do projeto de produção de cerveja artesanal com sistema automatizado de controle de temperatura foi bem-sucedido e proporcionou uma experiência prática valiosa para o grupo. Embora tenha sido um processo trabalhoso, especialmente nas etapas de montagem da placa, soldagem dos componentes e ajuste do circuito, todos os desafios foram superados com empenho e colaboração entre os integrantes.

A fase de construção da placa exigiu bastante atenção e paciência, principalmente no momento da solda, pois era necessário garantir que todos os componentes estivessem corretamente posicionados e conectados. Apesar da complexidade, a montagem foi concluída com sucesso, e o sistema respondeu de forma eficiente.

O controlador de temperatura funcionou perfeitamente durante o processo de brassagem, mantendo as faixas térmicas conforme exigido pela receita. Isso foi fundamental para garantir a qualidade da conversão dos açúcares, resultando em uma cerveja com bom rendimento e características adequadas ao estilo proposto. O sistema demonstrou estabilidade, precisão e facilidade de operação, mesmo sendo construído com recursos simples e de baixo custo.

Como resultado, foi possível produzir a cerveja artesanal com eficiência total, respeitando todas as etapas da receita. A experiência foi extremamente enriquecedora para todos os envolvidos, pois permitiu aplicar conhecimentos de diversas áreas do curso, como automação, controle de processos, eletrônica e trabalho em equipe. Além disso, o projeto mostrou como soluções práticas e acessíveis podem ser aplicadas com sucesso em processos reais.

6. Referências

Larousse da Cerveja (LIVRO)

Cerveja & Cia

BLOG Controle PID de Potência em Corrente Alternada - Arduino e TRIAC

