

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Pedro Henrique Baseggio Panisson

SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA
MICROCERVEJARIAS ARTESANAIS

Passo Fundo

2019

Pedro Henrique Baseggio Panisson

**SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA
MICROCERVEJARIAS ARTESANAIS**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Passo Fundo

2019

Pedro Henrique Baseggio Panisson

Sistema de automação para microcervejarias artesanais

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Aprovado em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adriano Luís Toazza - UPF

Prof. Dr. Eduardo Appel - UPF

Prof. Me. Edson Santos Acco - UPF

Este trabalho é dedicado à minha família, em especial minha mãe Ana, meu pai Dilvan e meus avós que sempre me apoiaram incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma auxiliaram com que esse trabalho fosse possível, em especial meu orientador professor Adriano pelas instruções no desenvolvimento do projeto. Agradeço também o cervejeiro Ricardo Gardelin que concedeu a microcervejaria para implementação do projeto, além de colegas e amigos.

“Sábio, é o ser humano que tem coragem de ir diante do espelho da sua alma para reconhecer seus erros e fracassos, e utilizá-los para plantar as mais belas sementes no terreno de sua inteligência”.

Augusto Cury

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso se refere ao desenvolvimento de um sistema automático de controle de processos de uma microcervejaria. Sua finalidade é auxiliar e facilitar os processos de produção da cerveja, tais que necessitam de precisão e controle. O sistema possui uma operação simples que controla a temperatura, o tempo e o passo a passo do processo. Seguindo a interface do sistema, podem ser acionadas diferentes etapas da cadeia de fabricação, garantindo um melhor aproveitamento produtivo e uma facilidade no serviço. Como peça chave na idealização do projeto, o microcontrolador ARM é a central de comando de todas as etapas da produção, desde a regulação de temperaturas, acionamento de resistências, além da comunicação com o usuário. Os sensores de temperatura fazem a leitura e conforme o desejo do usuário, pode-se acompanhar o desenvolvimento dos eventos a serem executados: água de lavagem, mosturação e fervura.

Palavras-Chave: microcervejaria, microcontrolador, resistências, sensores de temperatura.

ABSTRACT

The present work of conclusion of course refers to the development of an automatic process control system of a microbrewery. Its purpose is to aid and facilitate the production processes of beer, which require precision and control. The system has a simple operation that controls the temperature, time and step by step of the process. Following the system interface, different stages of the manufacturing chain can be activated, guaranteeing a better productive use and an ease in the service. As a key element in the design of the project, the ARM microcontroller is the central control of all stages of production, from temperature regulation, valve actuation, as well as communication with the user. The temperature sensors read and according to the user's wishes, you can follow the development of the events to be performed: washing water, flushing and boiling.

Keywords: microbrewery, microcontroller, resistances, temperature sensors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Consumo mundial de cerveja	17
Figura 1 – Distribuição das cervejarias pelo Brasil	17
Figura 2 – Principais matérias primas para produção de cerveja	18
Gráfico 2 – Alcalinidade residual relacionando a coloração da cerveja e o PH	20
Figura 3 – Processo de produção do malte	20
Figura 4 – Processo de fabricação de cerveja	21
Gráfico 3 – Exemplo de mosturação com temperatura escalonada	23
Gráfico 4 – Etapa de fervura	24
Figura 5 – Construção do termopar	26
Figura 6 – Efeito “junção fria” no termopar	26
Figura 7 – Termopar tipo J com encapsulamento	27
Quadro 1 – Tipos de termopares e temperatura de aplicação	27
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da termorresistência em relação ao termopar	28
Figura 8 – Circuito de aplicação típica do CI MAX31865	29
Figura 9 – Construção da termorresistência	30
Quadro 3 – Quadro comparativo gás versus resistência elétrica	30
Figura 10 – Resistência elétrica para painéis	31
Figura 11 – Representação do acionamento do contator	31
Figura 12 – Contator WEG	32
Figura 13 – Representação do acionamento por triac	33
Figura 14 – Ciclo de controle integral	33
Figura 15 – Válvula solenoide	35
Figura 16 – Princípio de funcionamento da válvula solenoide	35
Figura 17 – Placa de desenvolvimento TM4C123GXL da Texas Instruments	36
Figura 18 – Corte esquemático de uma bomba centrífuga típica	37
Figura 19 – Controlador BeerMax Herms	38
Figura 20 – Diagrama de blocos do projeto	39
Fotografia 1 – Microcervejaria artesanal automatizada	40
Fotografia 2 – Tanque de água de lavagem	41
Fotografia 3 – Tanque de mosturação com resistências elétricas	42
Fotografia 4 – Painel de mosturação com fundo falso	42
Fotografia 5 – Fundo falso superior	43

Fotografia 6 – Bomba de recirculação	43
Figura 21 – Tela inicial da interface com usuário	44
Figura 22 – Tela para escolha do processo	45
Figura 23 – Tela do processo de água de lavagem	45
Figura 24 – Tela para controle de válvulas	46
Figura 25 – Tela de acionamento da bomba centrífuga	46
Figura 26 – Tela de seleção do modelo da cerveja para mostura	47
Figura 27 – Receita da mosturação para modelo 1	48
Figura 28 – Receita da mosturação para modelo 2	48
Figura 29 – Receita da mosturação para modelo 3	48
Figura 30 – Tela do processo de fervura	49
Figura 31 – Esquema elétrico da placa de um acionamento	50
Fotografia 7 – Placa montada com os componentes eletrônicos	51
Figura 32 – Circuito de aplicação típica do CI MAX6675	52
Figura 33 – Placa com circuito de aplicação típica do MAX6675 e Termopar tipo K	52
Figura 34 – Diagrama de blocos geral do Firmware	53
Quadro 4 – Definição dos pinos do microcontrolador	54
Figura 35 – Desenho da placa no Proteus	56
Fotografia 8 – PCI frezada e montada com os componentes	56
Figura 36 – Circuito Snubber proposto	57
Fotografia 9 – Caixa de comando com microcontrolador e placa de relés	58
Fotografia 10 – Caixa de comando de potência	58
Fotografia 11 – Quadro de disjuntores	59
Fotografia 12 – Processo de mosturação em funcionamento	60
Fotografia 13 – Montagem do sistema na microcervejaria	61
Fotografia 14 – Poço térmico para inserção do termopar e conector do cabo	61
Fotografia 15 – Sistema montado e pronto para o funcionamento	62
Quadro 5 – Temperaturas e tempos alvo do sistema	63
Fotografia 16 – Panela de mostura em processo	64
Fotografia 17 – Panela de água de lavagem	64
Fotografia 18 – Processo de fervura em andamento	65
Quadro 6 – Temperaturas estimadas e atingidas pelo sistema apenas com água	65
Fotografia 19 – Processo de mosturação	66
Quadro 7 – Temperaturas estimadas e atingidas pelo sistema com todos os insumos	67

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTO.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL.....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4 JUSTIFICATIVA	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 SISTEMAS PRODUTIVOS.....	15
2.1.1 Sistema manual	15
2.1.2 Sistema automatizado	15
2.1.3 Sistema trabalhador-máquina.....	16
2.2 A CERVEJA.....	16
2.2.1 Contexto Histórico.....	16
2.2.2 Mercado cervejeiro.....	18
2.2.3 Matéria Prima.....	18
2.2.3.1 ÁGUA.....	19
2.2.3.2 MALTE	20
2.2.3.3 LÚPULO	21
2.2.3.4 LEVEDURAS	21
2.2.4 Processo de Produção.....	21
2.2.4.1 MOAGEM.....	22
2.2.4.2 MOSTURAÇÃO	22
2.2.4.3 FERVURA	23
2.2.4.4 RESFRIAMENTO E FERMENTAÇÃO	24
2.2.4.5 MATURAÇÃO	24
2.2.4.6 FILTRAÇÃO E ENVASE.....	25

2.3	SENSORES DE TEMPERATURA	25
2.3.1	Termopar.....	25
2.3.2	Termorresistência	28
2.4	SISTEMA DE AQUECIMENTO	30
2.4.1	Resistência Elétrica.....	30
2.4.1.1	ACIONAMENTO ON-OFF	31
2.4.1.2	ACIONAMENTO POR SEMICONDUTORES	32
2.5	VÁLVULA SOLENOIDE	34
2.6	MICROCONTROLADOR ARM CORTEX M4	36
2.7	BOMBA DE RECIRCULAÇÃO	36
2.8	SISTEMA COMERCIAL DE PRODUÇÃO DE CERVEJA	38
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	39
3.1	ESTRUTURA MECÂNICA	40
3.2	DISPLAY	44
3.3	TELAS DE PROCESSO	44
3.3.1	Água de Lavagem	45
3.3.2	Bomba de Recirculação.....	46
3.3.3	Mosturação.....	47
3.3.4	Fervura	49
3.3.5	Resfriamento	49
3.4	MÓDULO DE RELÉS	49
3.4	SENSORES DE TEMPERATURA	51
3.5	FIRMWARE.....	52
3.5.1	Monitoramento da Temperatura	54
3.5.2	Acionamento das Saídas.....	54
3.5.3	Comunicação com o Display	55
3.5.4	WTimer 0A.....	55

3.6 PLACA PARA ALOJAMENTO DO MICROCONTROLADOR	55
3.7 CIRCUITO SNUBBER.....	57
3.8 PROTÓTIPO E IMPLEMENTAÇÃO	58
4 TESTES E RESULTADOS	63
4.1 TESTES COM ÁGUA	63
4.2 TESTE DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA	66
4.3 RESULTADOS	67
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo, serão apresentadas informações históricas sobre a cerveja, bem como a indústria cervejeira no mundo e no Brasil. Também, será justificado o tema do projeto e quais os objetivos almejados.

1.1 CONTEXTO

A fabricação artesanal de cerveja sempre esteve presente no cotidiano de amantes da bebida. Diferentes composições e tipos preenchem as variadas maneiras de produção e ingredientes utilizados no processo de fabricação.

Há evidências de que a prática do processo cervejeiro se iniciou na região da Mesopotâmia onde a cevada cresce em estado selvagem. Os primeiros indícios de fabricação de cerveja têm cerca de 6 mil anos e remetem aos Sumérios, povo mesopotâmico (SAINT BIER, 2018).

Segundo a CervBrasil (2018), o setor é um dos mais relevantes da economia brasileira. Com mais de 2,7 milhões de pessoas empregadas ao longo da cadeia produtiva, pode ser considerado como um dos maiores geradores de empregos do país.

As cervejarias que tem uma produção menor do que 2 milhões de barris por ano, recebem descontos fiscais e podem ser consideradas micro e artesanais. Além desse critério, também são consideradas artesanais as cervejarias que não possuem mais de 25% da empresa comprada por outra macro indústria de bebida alcoólica (BREJADA, 2015).

A partir dos anos 2000, o movimento das cervejarias artesanais e microcervejarias iniciados por volta dos anos 90, se consolidou no Brasil (G1, 2016). Com o desenvolvimento da eletrônica e automação, nos dias de hoje, pode-se facilitar muito o processo de produção dessa bebida.

Existem vários tipos de cerveja no mundo, cada uma com ingredientes e modos diferentes de fabricação. Distintos tipos de simplificação dos processos podem ser feitos, tais como monitoramento da temperatura de aquecimento, tempo aplicado a cada processo e monitoramento dos eventos conforme o desejo do usuário, visualizando e controlando todo o meio de fabricação.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema automático de produção de cerveja para auxiliar o produtor artesanal com o controle das etapas produtivas.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Desenvolver estudos acerca do processo de fabricação de cerveja, automação dos mesmos e assuntos relacionados;
- b) Projetar circuitos de interpretação de dados e acionamento;
- c) Desenvolver uma interface de usuário com base no microcontrolador ARM Cortex M4;
- d) Implementar sistema na prática e coletar resultados.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo o Serviço Brasileiro de apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2017), o Brasil é um dos maiores consumidores de cerveja do mundo. A média anual de litros consumidos por habitante é maior a cada ano. De acordo com uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (IBOPE) em novembro de 2013, foi constatado que a cerveja é a bebida preferida de 2/3 dos brasileiros para festividades, com 64% da preferência.

Uma maior facilidade na produção de cerveja pode alavancar ainda mais o segmento, proporcionando a pessoas com menor conhecimento na área, conseguirem fazer um produto de qualidade proporcional à grandes produtores ou conhecedores do ramo cervejeiro.

O desenvolvimento de microcervejarias artesanais pode ter impacto direto na economia, pois o segmento prioriza a qualidade do produto e isso facilita a comercialização e por consequência, o aumento da produtividade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para melhor compreensão do tema desenvolvido e seu funcionamento, neste capítulo será apresentado o embasamento teórico com os conceitos básicos de um sistema de automação cervejeiro, os equipamentos existentes aplicados a essa finalidade, aspectos construtivos, aplicações e seus contextos.

2.1 SISTEMAS PRODUTIVOS

Um sistema de produção, nada mais é que uma cadeia de processos automáticos que controla e comanda diferentes mecanismos, dando suporte e segurança ao trabalho exercido, otimizando o tempo, melhorando a qualidade e reduzindo o número de pessoas aplicadas ao processo, seja de uma indústria ou organização.

Em sistemas modernos, as operações industriais geralmente são automatizadas e computadorizadas, resultando em uma linha de produção rápida e eficiente. Apesar da automação diminuir o número de pessoas envolvidas no processo, a presença destas – responsáveis em fazer com que o sistema funcione – é imprescindível. A participação humana no meio produtivo é dividida em três categorias básicas: sistema de trabalho manual, sistema automatizado e sistema trabalhador-máquina (GROOVER, 2011).

2.1.1 Sistema manual

“Sistema formado por um ou mais trabalhadores que executam uma ou mais tarefas sem ajuda de ferramentas motorizadas. Tarefas que envolvem o trabalho manual com materiais são comuns nesse sistema.” (GROOVER, 2011, p.3).

2.1.2 Sistema automatizado

“É o processo executado por uma máquina de forma autônoma, ou seja, sem a participação direta de um trabalhador humano. A automação é implementada por meio de um programa de instruções combinado a um programa de controle que executa as instruções”. (GROOVER, 2011, p.3).

2.1.3 Sistema trabalhador-máquina

“Nesse tipo de sistema, um trabalhador humano opera um equipamento motorizado. Trabalhadores e máquinas se combinam de modo a tirar proveito de seus pontos fortes e atributos.” (GROOVER, 2011, p.3).

2.2 A CERVEJA

A cerveja é uma bebida alcoólica e pode-se afirmar que, a mais consumida no mundo. Os processos de fabricação da bebida estão cada vez mais disseminados entre pessoas, realizando muitas vezes manualmente as químicas dos componentes. Em grandes indústrias, a concepção do produto é feita baseada em sistemas altamente automatizados.

2.2.1 Contexto Histórico

Nos princípios da civilização, por volta de 4000 a.C., já se cultivava os ingredientes principais para a produção da cerveja. Não se sabe ao certo como o processo foi descoberto, mas acredita-se que, como alguns cereais eram inadequados e desagradáveis para serem comidos crus, eles eram esmagados e posteriormente mergulhados em água (OPA BIER, 2015).

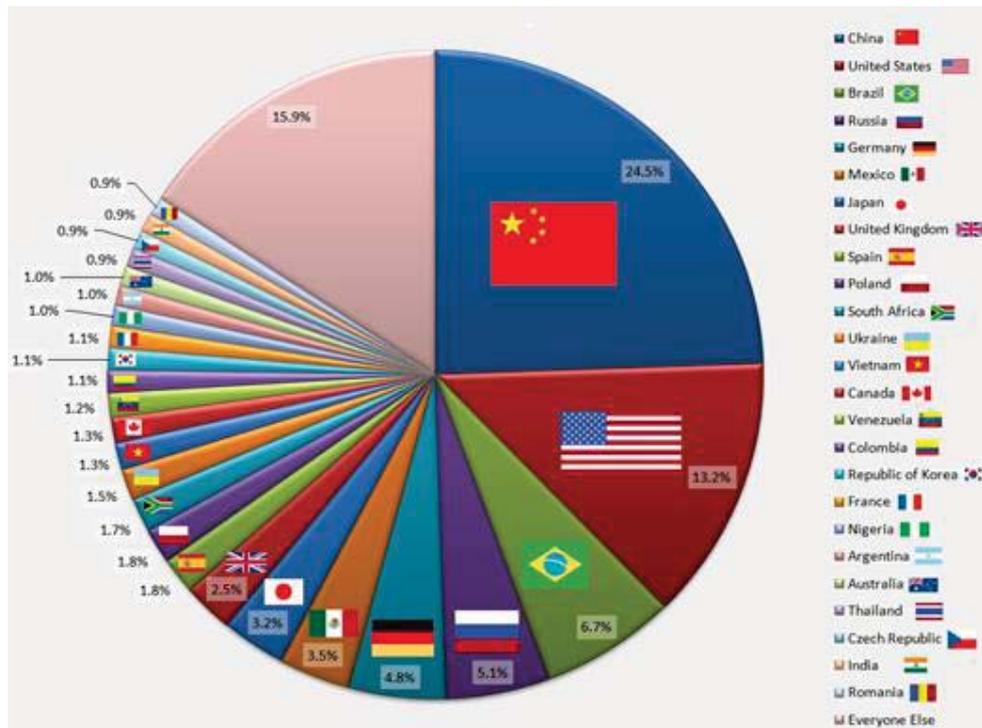
Os primeiros a receberem autorização para a produção comercial da cerveja foi a cervejaria de Weihenstephan, participantes da ordem religiosa católica. Por isso, a universidade de Weihenstephan dentro da Universidade de Munique, é a indústria cervejeira mais antiga do mundo, tendo sido fundada no ano de 1040 e com fabricação desde os anos 800 (CERVEJANDO, 2018).

Desde o final do sec. XIX, desenvolveu-se um crescimento importante na qualidade da cerveja. Resultado disso, cada vez mais consegue-se fabricar cervejas de alta qualidade e constância, praticamente em qualquer lugar do mundo (CERVEJANDO, 2018).

O total da produção mundial de cerveja foi estimado em 195 bilhões de litros em 2012. Dentro deste contexto, a China figura como o maior país produtor e consumidor de cerveja no mundo desde 2002, ultrapassando os Estados Unidos que apresentam ainda um mercado praticamente estagnado desde os anos de 1980. Apesar do crescente investimento e da maior participação nos mercados estrangeiros, as vendas dos quatro principais grupos cervejeiros centram-se principalmente em seus mercados mais tradicionais (VENTURINI, 2016, p.52).

Observa-se no Gráfico 1 o consumo mundial de cerveja.

Gráfico 1: Consumo mundial de cerveja.



Fonte: BierWein (2017).

No Brasil, segundo dados oficiais, o número de cervejarias registradas cresceu 91% nos últimos 3 anos, saltando de 356 estabelecimentos em 2014 para 679 em 2017. Somente no ano passado, o país ganhou 186 novas fábricas (G1, 2018). Na Figura 1 está demonstrada a distribuição de cervejarias pelo Brasil. Nesse contexto, o Rio Grande do Sul é o Estado com maior número de cervejarias registradas no Brasil, ganhando até mesmo do Estado de São Paulo, destacando assim o alto desenvolvimento do ramo cervejeiro entre os gaúchos.

Figura 1: Distribuição das cervejarias pelo Brasil.



Fonte: Com adaptação de ABRACERVA (2018).

Existem inseridas também nesse contexto, as micro e nanocervejarias, onde se produz cerveja em menores quantidades. Uma nanocervejaria se caracteriza por ter uma produção mensal de até 1000 litros e atua sem ter todas as licenças legais. Já a microcervejaria, produz uma quantidade de até 200 mil litros por mês, totalmente ou parcialmente legalizada (HOMINILUPULO, 2017).

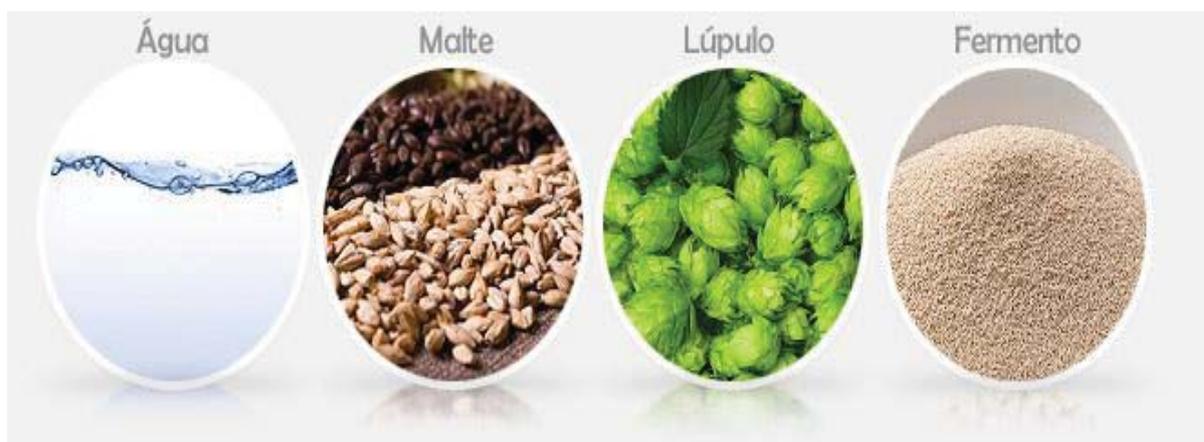
2.2.2 Mercado Cervejeiro

O setor cervejeiro é um dos mais tradicionais do Brasil tendo amplo crescimento e presente em todas as cidades, em uma cadeia que vai desde a produção artesanal, até o mercado de vendas, embalagens, automação, maquinário, entre outros. Sua atuação, movimenta uma grande rede econômica, sendo responsável por 1,6% do PIB brasileiro e 14% da indústria de transformação (CERVBRASIL, 2018).

2.2.3 Matéria Prima

A fabricação da cerveja envolve uma série de medidas, que necessitam ser supervisionadas. Para cada tipo de cerveja existe uma maneira particular de fabricação, porém, os ingredientes principais que compõem o processo produtivo podem ser observados na Figura 2.

Figura 2: Principais matérias primas para produção de cerveja.



Fonte: (COMO FAZER CERVEJA, 2009).

2.2.3.1 ÁGUA

A água é um dos principais fatores a ser levado em consideração na fabricação de cervejas. Para cada 1 litro de cerveja produzida é gasto em média 10 litros de água, considerando todo o processo produtivo (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2018).

O PH se caracteriza pela quantidade de íons de hidrogênio presentes na água. Na água natural, encontra-se um PH entre 6,5 e 8,5, enquanto que na cerveja pronta esse potencial está entre 4,2 e 4,4. Logo, no mosto cervejeiro, que é o produto na fase de mosturação compreendendo malte triturado e água em uma temperatura específica, o potencial fica entre 5,4 e 5,6. Para o processo de produção, o balanceamento do PH é extremamente necessário, pois em palavras simples, equilibra a acidez.

Segundo Palmer (2006), há vários íons importantes que considerar quando se avalia a água para fabricação. Os principais íons são: Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}), Bicarbonato (HCO_3^{-1}), e Sulfato (SO_4^{-2}). O Sódio (Na^{+1}), Cloro (Cl^{-1}), e Sulfato (SO_4^{-2}) que podem influir sobre o gosto da água e da cerveja, mas não afetam o PH como os outros. A concentração de íons na água geralmente é mencionada como partes por milhão (ppm), o qual é equivalente a um miligrama de uma substância por litro de água (mg/l).

A alcalinidade residual (Ar) é um dos parâmetros mais importantes para entender os efeitos da água na cerveja, que pode ser explicada como a diferença entre a alcalinidade da água pura e a alcalinidade da água depois de adicionado o malte, podendo ser denotado segundo Palmer (2013) como:

$$Ar(ppm) = Alcalinidade\ total(ppm) - \left(\frac{Ca}{1,4} + \frac{Mg}{1,7} \right) \quad (1)$$

Onde:

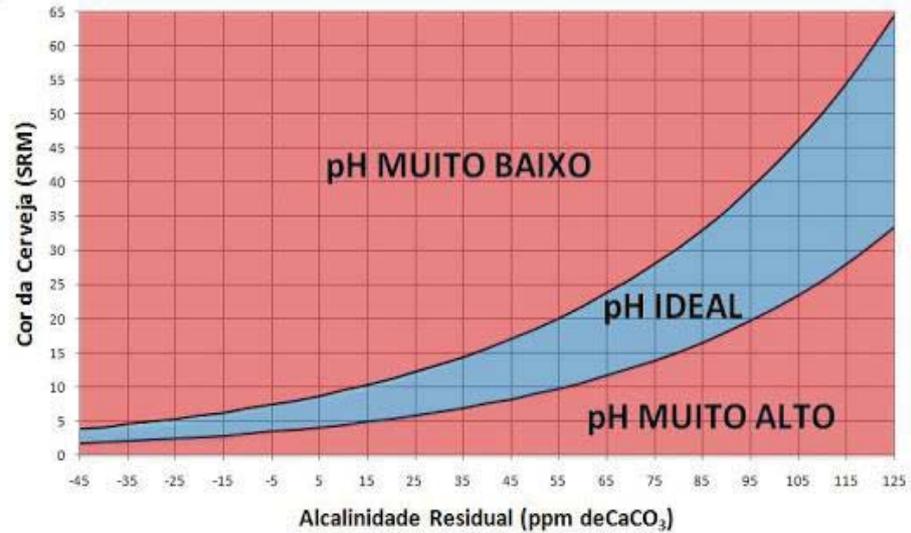
Alcalinidade total em processos cervejeiros, é a quantidade de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) dissolvido na água (PPM)

Ca é a quantidade de cálcio dissolvido na água (mg/l)

Mg é a quantidade de magnésio dissolvido na água (mg/l)

Cervejas produzidas com maltes mais escuros se beneficiam de alcalinidades mais altas, enquanto que de maltes mais claros, alcalinidades residuais mais baixas. Pode ser observado no Gráfico 2 a relação entre a alcalinidade residual e a coloração da cerveja, onde o PH é fator importante na composição dos sabores, existindo valores ideais para cada tipo de cerveja sendo quanto mais escura, mais ácida tende ser.

Gráfico 2: Gráfico da alcalinidade residual relacionando a coloração da cerveja e o PH.

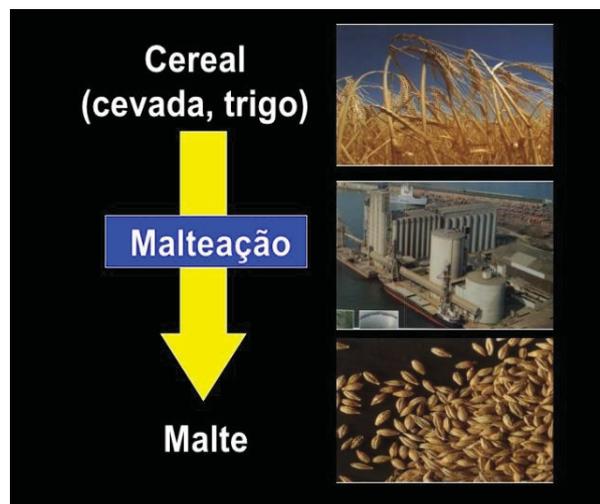


Fonte: (CERVEJEIRO SOLITÁRIO, 2016)

2.2.3.2 MALTE

Malte é o grão de cereal que pode ser cevada, trigo ou centeio comumente e passou pelo processo conhecido como “malteação”, que serve para preparar o malte através da germinação em condições controladas, consistindo basicamente em quatro operações: maceração, germinação, secagem e crivagem. Ele é uma fonte de açúcares, proteínas e nutrientes que dão sabor e corpo à cerveja. O processo de produção do malte pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Processo de produção do malte.



Fonte: (PAULO SCHIAVETO, 2009).

2.2.3.3 LÚPULO

O lúpulo exerce papel essencial por conceder amargor e aroma as cervejas. No processo de produção de cerveja, após a mosturação, é iniciada a fervura. Nesta etapa adiciona-se o lúpulo ao mosto cervejeiro (CERVEJA E MALTE, 2014).

A forma de utilização do lúpulo no processo produtivo varia de acordo com o estilo de cerveja a ser fabricada, já que a quantidade e sua característica alteram o sabor do produto final (CERVEJA E MALTE, 2014).

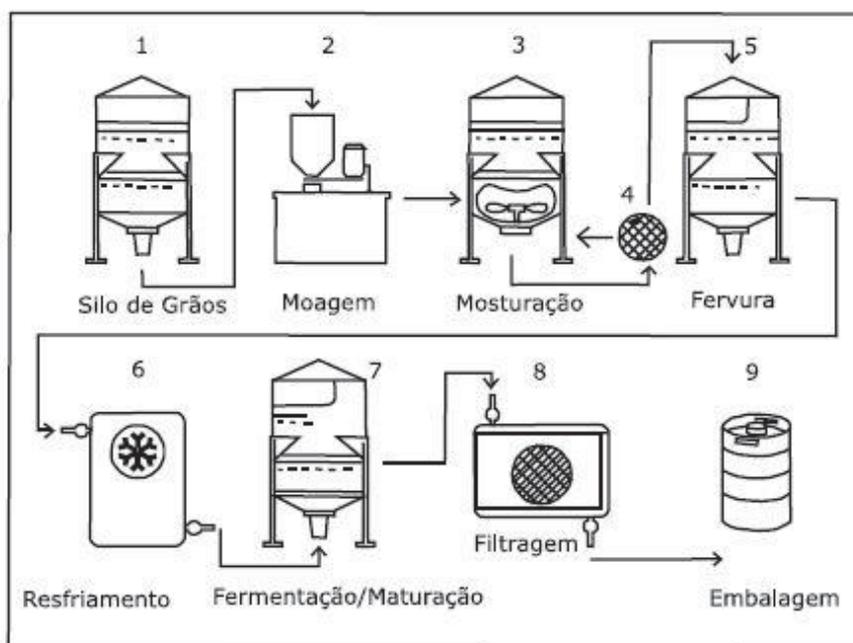
2.2.3.4 LEVEDURAS

O fermento, ou levedura, é um elemento vivo na produção de cerveja. Trata-se de um micro-organismo que consome os açúcares presentes no mosto liberando álcool e gás carbônico (COMO FAZER CERVEJA, 2009).

2.2.4 Processo de Produção

Embora o processo de produção de cerveja possa parecer um pouco complexo pela quantidade de detalhes a serem observados, existem diversos tipos de cervejas e uma série de etapas comuns entre todas. Pode-se ter uma visão geral do processo através da Figura 4.

Figura 4: Processo de fabricação de cerveja.



2.2.4.1 MOAGEM

Em grandes empresas o malte é recebido em caminhões e armazenado em silos de grãos (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2018). Depois de ter as quantidades e os tipos de malte definidos, é necessário moê-los.

A função da moagem é quebrar os grãos do malte para expor seu endosperma, para atuação das enzimas durante a mosturação, processo explicado no próximo subcapítulo. A moagem ideal é aquela em que o tecido vegetal é exposto e quebrado, mantendo as cascas inteiras. Muito pó fino e grãos inteiros não são desejáveis (MANUAL DO CERVEJEIRO CASEIRO, 2016).

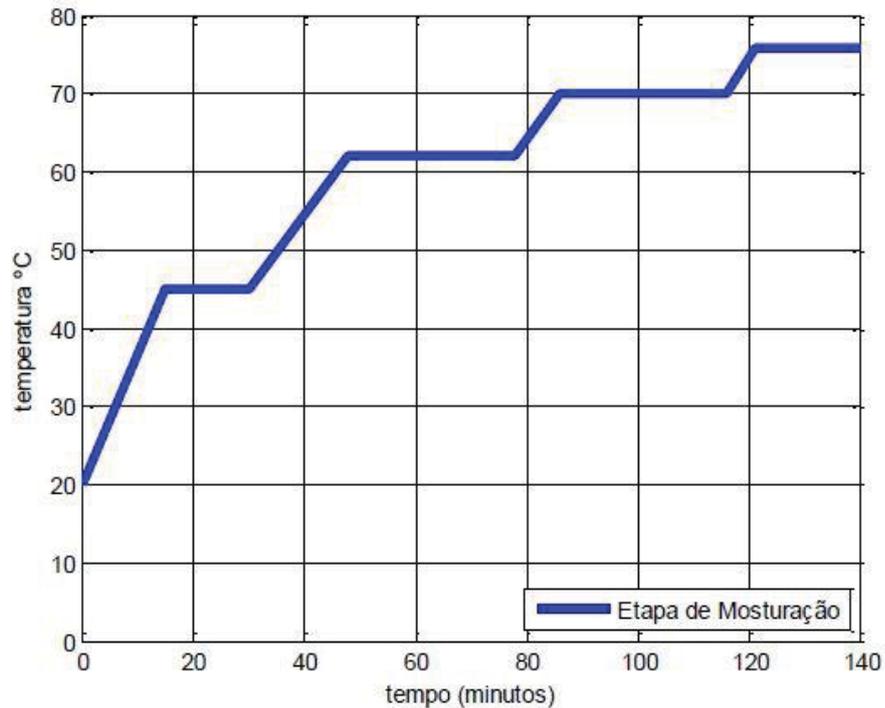
2.2.4.2 MOSTURAÇÃO

Neste processo, o malte moído é misturado com água, geralmente pré-aquecida, para formar o mosto cervejeiro. Para a obtenção de mostos com concentrações convencionais, é utilizada geralmente uma relação de água inicial/malte de 2 a 4L / Kg de malte (USP, 2016). A etapa de pré-aquecimento da água pode ser denominada como “água de lavagem”, onde se aquece a água previamente para facilitar a conversão do amido, proveniente do malte, em açúcares.

Segundo Palmer (2006 apud PARIZOTTO, 2017, p. 14), dos vários passos para que o cervejeiro caseiro chegue a uma cerveja artesanal de qualidade, o mais trabalhoso é a etapa de mosturação. O aquecimento escalonado na etapa da mosturação, visa favorecer a ação de diferentes grupos de enzimas responsáveis por fazer a conversão do amido dos grãos em açúcares fermentescíveis.

Um processo de mosturação passa pela elevação da temperatura do mosto cervejeiro, possibilitando a ação de enzimas em cada temperatura alvo. Depois de chegar na temperatura desejada, é deixado um tempo de descanso para o mosto aquecido, transformando o amido do malte em açúcares fermentescíveis, como pode ser observado no Gráfico 3.

Gráfico 3: Exemplo de mosturação com temperatura escalonada.



Fonte: (PARIZOTTO, 2017).

Enquanto ocorre o aquecimento do malte, uma bomba elétrica deve fazer a recirculação do mosto, para evitar a caramelização ou até mesmo que os grãos queimem, ocasionando sabores desagradáveis na cerveja.

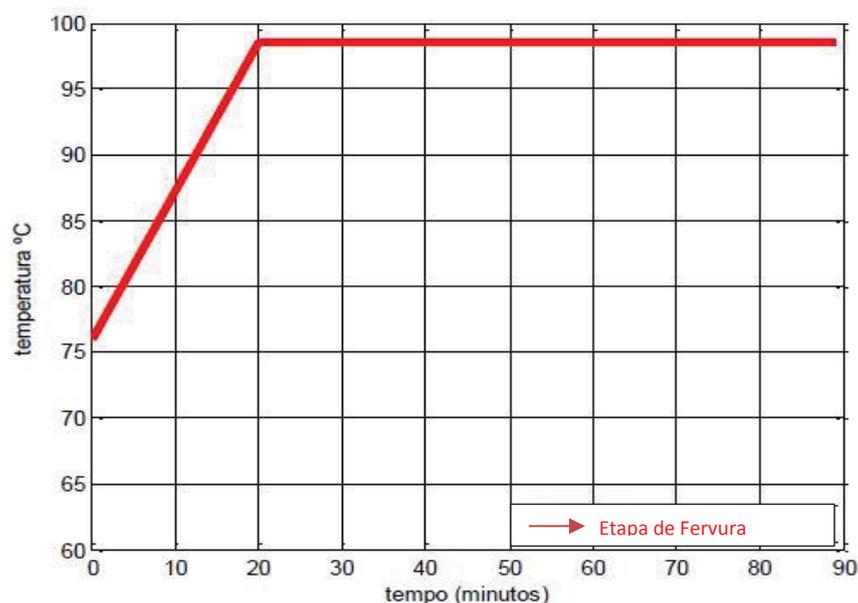
Depois de finalizado o processo de aquecimento, deve-se recircular o mosto novamente para clarificar e filtrar impurezas restantes.

2.2.4.3 FERVURA

Após o mosto ser filtrado, ele é levado à fervura por um período de 1 a 2 horas, representado no Gráfico 4. Nessa fase o lúpulo é adicionado. A operação de fervura tem as seguintes finalidades principais:

- Solubilização e transformação das substâncias amargas do lúpulo;
- Eliminação de substâncias voláteis indesejáveis;
- Esterilização do mosto (COIMBRA, 2009).

Gráfico 4: Etapa de fervura.



Fonte: Com adaptação de PARIZOTTO (2017).

2.2.4.4 RESFRIAMENTO E FERMENTAÇÃO

O mosto lupulado é resfriado em baixas temperaturas (aproximadamente 7 a 12 graus celsius) dependendo do tipo de fermentação que vai sofrer e do tipo de levedura que será utilizado. Após ser resfriado, a levedura (fermento) é inserida e a mistura é colocada em outro tanque para a fermentação (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2018).

A fermentação é a operação durante a qual os açúcares do mosto, pela ação da levedura, se transformam em álcool e dióxido de carbono. O processo inicia-se com a adição de levedura selecionada para o tipo de cerveja que se pretende produzir, sendo conduzida em temperaturas controladas e com uma duração aproximada de 7 dias (COIMBRA, 2009).

2.2.4.5 MATURAÇÃO

O mosto fermentado é agora chamado de cerveja verde. Ela é maturada em baixas temperaturas (zero grau ou menos) por períodos que podem levar dias, semanas ou meses (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2018).

Essa etapa, além de diminuir a densidade da cerveja, evitando com que a garrafa exploda, elimina quaisquer leveduras ainda em atuação na cerveja, clarificando e aprimorando as características sensoriais da cerveja (DINSLAKEN, 2016).

2.2.4.6 FILTRAÇÃO E ENVASE

A filtração é a operação que dá à cerveja a sua limpidez, eliminando os últimos elementos indesejados ainda presentes. Consiste basicamente em bombear o líquido através de um meio filtrante. A cerveja filtrada é então armazenada em tanques, estando pronta para o envase (COIMBRA, 2009).

Diferentemente das cervejas artesanais, as cervejas industrializadas são produzidas em maior escala e com o objetivo de vender em grande quantidade para um maior número de consumidores. Elas também passam por processos como filtração e pasteurização antes do envase, o que não acontece na produção da cerveja artesanal (OPABIER, 2016).

2.3 SENSORES DE TEMPERATURA

O sensor de temperatura é um dispositivo capaz de detectar uma variação de temperatura no ambiente inserido, através de uma característica física correspondente de cada instrumento, como por exemplo: resistência elétrica, capacitância e campo eletromagnético (MELO, 2016).

Existem alguns tipos comuns de sensores, cada um com aplicações desejadas, vantagens e desvantagens. Os dois sensores de temperaturas abordados nesse capítulo são aplicáveis ao tema proposto, sendo ambos utilizados em microcervejarias e passíveis de uso no sistema automatizado.

2.3.1 Termopar

Os termopares são sensores de temperatura robustos, confiáveis em suas medições e com baixo custo. Podem ser utilizados nos mais variados processos industriais para a medição de temperatura (MUNDO DA ELÉTRICA, 2016).

Eles consistem de um par de fios de metal com composições diferentes, unidos em uma extremidade. Esse contato dos metais, gera uma diferença de tensão termoelétrica entre as extremidades, refletindo dessa maneira a diferença de temperatura existente entre elas (CITISYSTEMS, 2016). O termopar é amplamente utilizado na indústria, pois além de ter um custo baixo, é robusto e resistente a ambientes severos.

Ao colocar dois metais diferentes em contato, haverá uma diferença de potencial entre eles em função da temperatura. Esse fenômeno é conhecido como efeito Seebeck (MELO, 2016). Pode-se observar na Figura 5 a construção básica de um termopar.

Figura 5: Construção do termopar.



Fonte: (MELO, 2016).

A diferença de potencial no termopar segundo Scervini (2009) pode ser expressa pela seguinte equação:

$$U = E_{ab} * T \quad (2)$$

Onde:

E_{ab} é a constante de proporcionalidade dos materiais ou coeficiente Seebeck

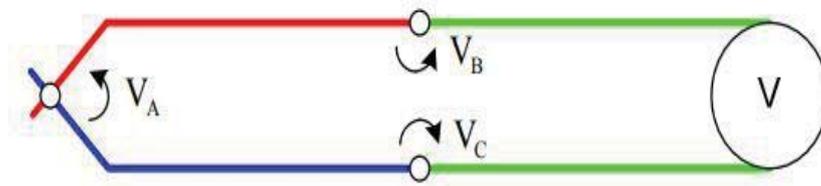
T é a temperatura na junção ($^{\circ}\text{C}$)

U é a diferença de potencial (V)

No termopar tipo K por exemplo, tem-se um E_{ab} de aproximadamente $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

No entanto, não se pode apenas interpretar o valor da tensão no termopar, uma vez que, ao ligar um voltímetro cria-se uma nova (e indesejada) junção no termopar. Para conseguir realizar medições exatas deve-se compensar este efeito, utilizando uma técnica conhecida como compensação por junção fria, ilustrado na Figura 6 (MELO, 2016).

Figura 6: Efeito “junção fria” no termopar.



Fonte: (MELO, 2016).

A DDP nesse caso segundo Scervini (2009) é definida como:

$$U = E_{ab}(T_h - T_{amb}) \quad (3)$$

Onde:

U é a diferença de potencial (V)

E_{ab} é a constante de proporcionalidade dos materiais ou coeficiente Seebeck

T_h é a temperatura na junção dos metais ($^{\circ}\text{C}$)

T_{amb} é a temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

O sensor de temperatura termopar é dividido em vários tipos que incluem dispositivos feitos de Chromel e Constantan (tipo E), ferro e Constantan (tipo J), Chromel e Alumel (tipo K) e cobre e Constantan (tipo T). Os materiais Chromel, Alumel e Constantan são marcas registradas da Hoskin Manufacturing Company. Os termopares de metal nobre também estão disponíveis em alguns fornecedores de sensores de temperatura. Cada tipo opera dentro de um intervalo de temperatura especificado (CITISYSTEMS, 2016).

Na Figura 7 observa-se um termopar tipo J com encapsulamento.

Figura 7: Termopar tipo J com encapsulamento.



Fonte: (MUNDO DA ELÉTRICA, 2016).

No Quadro 1, está demonstrado a constituição dos principais tipos de termopares seguido da faixa de temperatura em que cada um é capaz de atuar.

Quadro 1 – Principais tipos de termopares e temperatura de aplicação.

Nome	Constituição	Gama de Temperatura
B	Platina / 30% Ródio-Platina	0 – 1800 $^{\circ}\text{C}$
C	Tung-5% Rénio/Tung-26% Rénio	0 – 2320 $^{\circ}\text{C}$
J	Ferro / Constantan	0 – 2300 $^{\circ}\text{C}$
K	Cromel / Alumel	-270 – 1370 $^{\circ}\text{C}$
N	Nicrosil / Nisil	-270 – 1300 $^{\circ}\text{C}$
R	Platina / 13% Ródio-Platina	-50 – 1750 $^{\circ}\text{C}$
T	Cobre / Constantan	-270 – 400 $^{\circ}\text{C}$

Fonte: Com adaptação de Dinslaken (2016).

2.3.2 Termorresistência

As termorresistências são sensores de temperatura muito utilizados em processos industriais, por suas características de alta estabilidade, resistência à contaminação, baixa influência de ruídos e altíssima precisão de leitura. Por estas qualidades, este sensor é padrão internacional na medição de temperatura na faixa de $-259,3467^{\circ}\text{C}$ a $961,78^{\circ}\text{C}$, segundo a escala internacional de temperatura de 1990 (ITS-90) (PT100 SENSORES, 2018).

Os termômetros de resistência ou RTD são sensores que funcionam com o princípio de variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Funcionam basicamente variando a resistência devido a variação de temperatura. O elemento sensor consiste em uma resistência em forma de um fio de platina de alta pureza, podendo ser de níquel ou de cobre (menos usado) encapsulado num bulbo de cerâmica ou vidro (PT100 SENSORES, 2018). As principais vantagens e desvantagens da termorresistência em relação ao termopar são discutidas no quadro 2.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da termorresistência em relação ao termopar.

Vantagens	Desvantagens
Muito mais preciso	Alto tempo de resposta
Com os equipamentos adequados, pode ser ligado a qualquer distância	Maior custo do que termopares utilizados nessa mesma faixa
Muito mais estáveis	Deterioram-se mais facilmente caso haja excesso em sua temperatura máxima de uso
Sua curva de resposta resistência/temperatura é mais linear	É necessário que todo o corpo do bulbo do sensor esteja com a temperatura equilibrada para responder corretamente

Fonte: Com adaptação de ADDTHERM (2017).

Termorresistências metálicas são construídas baseadas em fios de platina, cobre, níquel e tungstênio (UNIP, 2010). A variação da resistência elétrica para metais puros, segundo a equação de Callendar-Van Dusen (1925) pode ser representada como:

$$R = R_0 (1 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + \dots + a_n \cdot T^n) \quad (4)$$

Sendo:

R a resistência à temperatura T (Ω)

R_0 a resistência à temperatura de referência (Ω)

a o coeficiente de temperatura da resistência ($\text{W}/\text{W}^{\circ}\text{C}$)

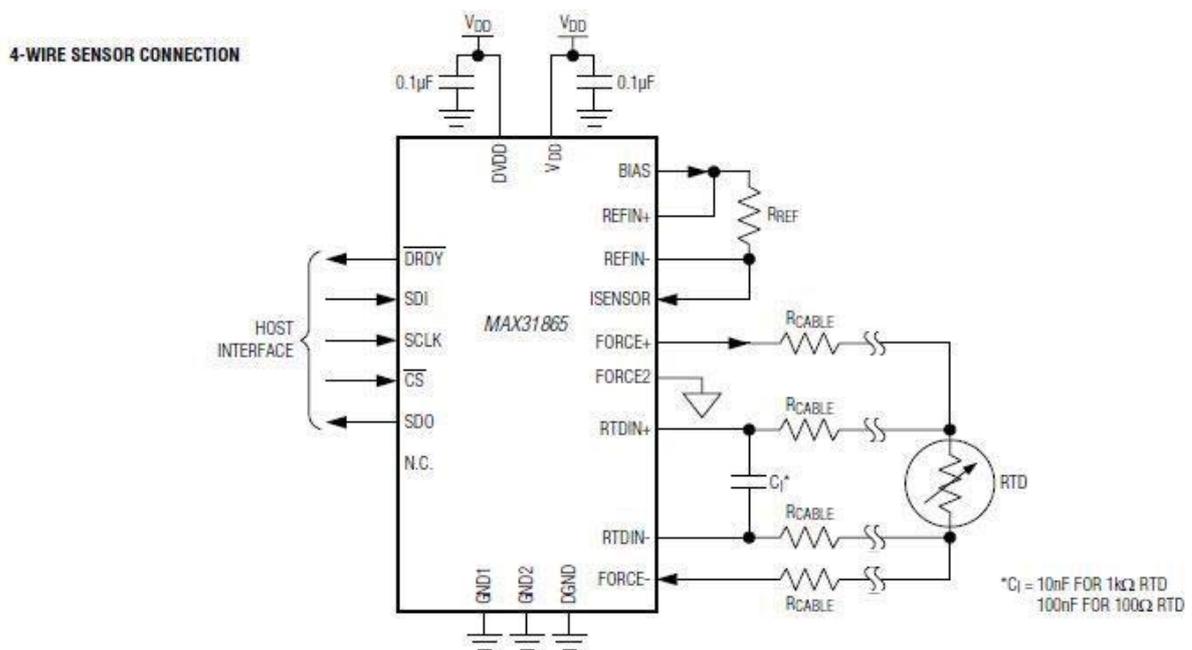
T a temperatura momentânea ($^{\circ}\text{C}$)

O mais utilizado, é a termorresistência chamada PT100, que se chama assim por apresentar uma resistência de $100\ (\Omega)$ a uma temperatura de $0\ ^{\circ}\text{C}$.

Existem CI's disponíveis no mercado que efetuam o cálculo e a conversão da resistência do sensor em palavra digital. Um exemplo disso é o circuito integrado MAX31865 da companhia Maxim Integrated, que é demonstrado na Figura 8.

Um resistor externo define a sensibilidade para o RTD usado e converte a relação entre a resistência do RTD e a resistência de referência em formato digital. As entradas do MAX31865 estão protegidas contra sobretensão de até 45V com resolução de 15 bits ou $0,03125\ ^{\circ}\text{C}$ (MAXIM INTEGRATED, 2015).

Figura 8: Circuito de aplicação típica do CI MAX31865.



Fonte: (MAXIM INTEGRATED, 2015).

A construção física dos RTD's pode ser observada na Figura 9.

Figura 9: Construção da termorresistência.



Fonte: (UNIP, 2010).

2.4 SISTEMA DE AQUECIMENTO

A operação de aquecimento dos materiais na microcervejaria pode ser realizado de 2 maneiras: a gás ou por resistência elétrica.

Pode-se comparar o custo de cada uma das alternativas como mostra o Quadro 3:

Quadro 3 - Quadro comparativo Gás versus Resistência Elétrica

Características	Gás	Resistência Elétrica
Custo Inicial	R\$ 60,00 por botijão	R\$ 50,00 a R\$ 150,00 em média Resistências de 3000 a 6000W respectivamente
Rendimento	4 a 5 processos de 40 litros	9 kWh por processo com resistência de 3000W
Custo Final	R\$ 12,00 por processo	Preço do kWh R\$ 0,52 Custo R\$ 4,68 por processo

Fonte: Com adaptação de Dinslaken (2016).

No caso da microcervejaria, serão utilizadas resistências elétricas para conseguir atingir as temperaturas necessárias de atuação das enzimas e para a fervura.

2.4.1 Resistência Elétrica

“Quando a corrente elétrica atravessa um condutor, ocorre a transformação de energia elétrica em energia térmica, devido à colisão dos elétrons livres com os átomos do condutor, esse fenômeno é denominado efeito térmico ou efeito joule. ” (FERRARO, 2007).

O aquecimento na resistência controlará as rampas de temperatura e tempos de descanso do processo. Para o acionamento da resistência elétrica, serão utilizados contadores. Além dos contadores, existe um sistema alternativo de acionamento, baseado nos semicondutores: triacs ou tiristores. Na Figura 10, pode-se observar uma resistência elétrica desenvolvida para ser utilizada em painéis.

Figura 10: Resistência elétrica para painéis.



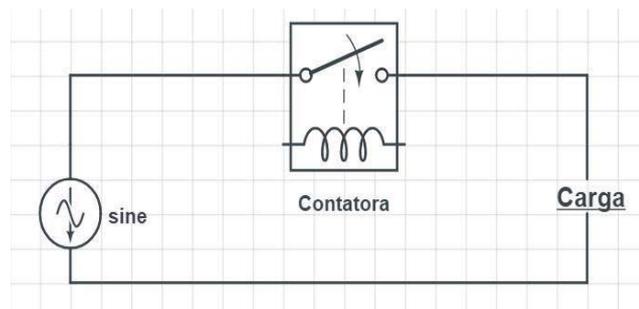
Fonte: (Mercado Livre, 2018).

2.4.1.1 ACIONAMENTO ON-OFF

O acionamento ON-OFF é designado para sistemas que não necessitam de uma precisão milimétrica e são tolerantes a uma pequena variação. A peça chave para essa automação na microcervejaria é o contador, que realiza todos os acionamentos ligando e desligando as resistências elétricas seguramente.

O contador é um dispositivo de chaveamento que liga e desliga uma carga de uma fonte. A operação acontece com o movimento dos contatos a partir de uma energia magnética, como mostra a Figura 11 (LANDER, 1988).

Figura 11: Representação do acionamento do contador.



Fonte: Com adaptação de LANDER (1988).

Existem disponíveis no mercado, várias categorias de contatores, magnéticos e eletromecânicos, cada um com características básicas para a aplicação. O dimensionamento adequado é fundamental para evitar problemas futuros.

AC1 é a categoria usada quando o fator de potência é pelo menos 0,95, cargas puramente resistivas, aquecimento, resistências e outros. A interrupção de corrente neste tipo de carga é fácil, devido ao baixo fator indutivo (MUNDO DA ELÉTRICA, 2018). Essa categoria é a adequada para aplicação em sistemas de aquecimento.

Figura 12: Contator WEG.



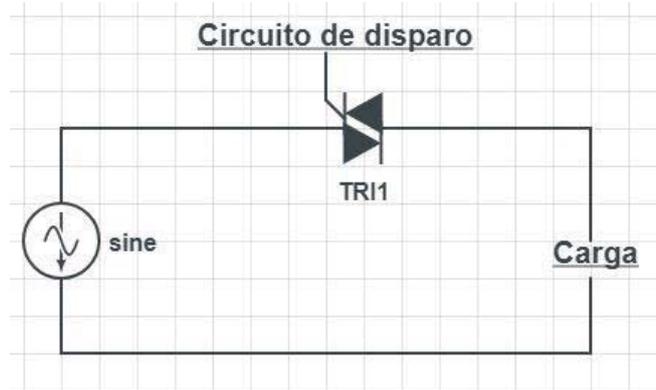
Fonte: (WEG, 2018).

O uso de contatores no sistema se justifica porque, ao atingir a temperatura requerida, o malte realiza a chamada “parada proteica”, que significa que todos os processos de aquecimentos e circulação devem estar parados. A panela por meio de isolamento térmica, deve manter a temperatura, evitando que varie mais do que 3 °C, podendo ser regulada uma histerese no sistema.

2.4.1.2 ACIONAMENTO POR SEMICONDUTORES

Enquanto o contator mecânico necessita de um tempo de operação, os dispositivos semicondutores ligam imediatamente após o pulso de disparo recebido no gate, o que pode ocorrer com ângulos predeterminados. (LANDER, 1988). Pode-se observar a representação de um acionamento por triac na Figura 13.

Figura 13: Representação do acionamento por triac



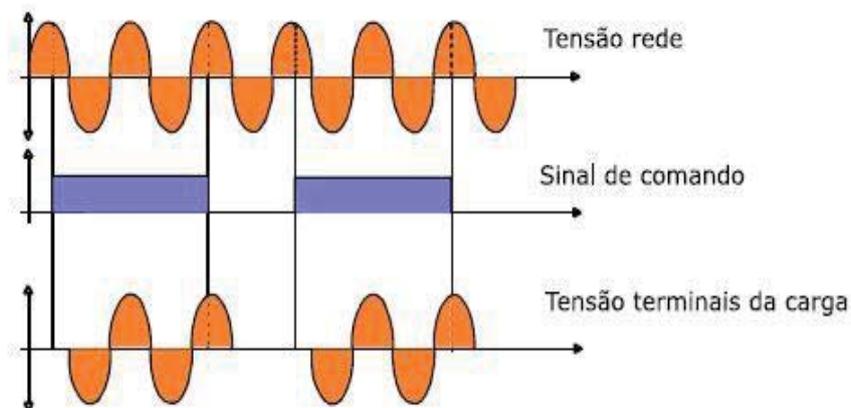
Fonte: Com adaptação de LANDER (1988).

“A vantagem do acionamento a semicondutor é a velocidade de resposta e a precisão no instante do chaveamento, não necessitando de uma rotina de manutenção, e a ausência de ruído, ao contrário do contator mecânico.” (LANDER, 1988, p.259).

Segundo Lander (1988), uma carga de aquecimento por resistências pode ser controlada por diferentes níveis de potência usando-se triacs. Quando a potência é muito elevada, podem ser utilizados tiristores em antiparalelo.

A maioria das cargas de aquecimento possui constante de tempo de segundos ou vários minutos. Nesse caso, uma pequena variação ocorre na temperatura se o controle mantiver o sistema ligado por alguns ciclos, e desligado por outros como na Figura 14. Essa forma de controle é chamada de controle integral ou zero crossing (LANDER, 1988).

Figura 14: Ciclo de controle integral.



Fonte: (PARIZOTTO, 2017).

Nesse caso, a potência segundo Lander (1988) se dá como:

$$P = \frac{Vmáx}{2R} \cdot \frac{\text{tempo ligado}}{\text{tempo(ligado+desligado)}} \quad (5)$$

Sendo:

P é a potência (W)

Vmáx é a tensão máxima atingida (V)

R é a resistência elétrica (Ω)

Simplificando a equação (5), a equação (6) descreve a potência média (P_o) entregue a uma carga resistiva (R_c), a raiz do valor quadrático médio (RMS) da tensão de entrada é representado por (V_i), o ciclo de trabalho (d) é a razão entre o estado ligado e a soma entre estado ligado e desligado por um período de tempo (PARIZOTTO, 2017).

$$P_o = \frac{V_i^2}{R_c} \cdot d \quad (6)$$

Essa alternativa de acionamento não será aplicada no sistema, pois ao mantermos uma certa potência com ausência de recirculação do mosto na parada proteica, esse processo poderia causar uma queima no malte.

2.5 VÁLVULA SOLENOIDE

A válvula solenoide é um equipamento que possui variadas utilizações em diversas áreas. Ela é formada principalmente por duas frentes: corpo da válvula e bobina solenoide. A bobina de fio espiral em volta de um pistão, é chamada de solenoide (JEFFERSON, 2018).

Muito utilizada em processos de automação industrial, com a válvula é possível fechar, dosar, distribuir ou misturar fluxos de gás, líquido ou óleo, garantindo controle e proteção, como representado na Figura 15 (JEFFERSON, 2018).

Figura 15: Válvula solenoide com corpo em latão.

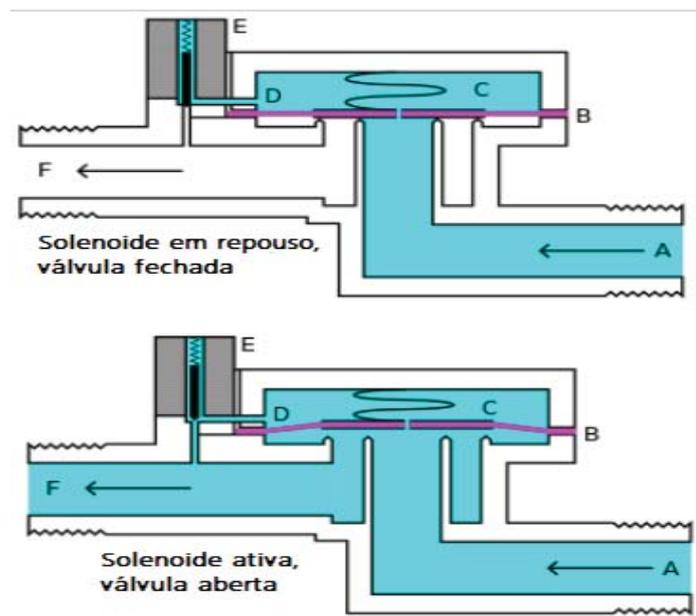


Fonte: (JEFFERSON, 2018).

A válvula solenoide pode ser feita de vários materiais, normalmente cada material é escolhido pelas suas propriedades químicas e seu custo. O material de base não é apenas escolhido devido ao fluido que ele controlará, é considerado também o ambiente em que o mesmo será implantado. Tais ambientes podem ser corrosivos, perigosos ou estéreis. Em cada um desses casos, o material do corpo da tampa da válvula deve ser corretamente dimensionado para não haverem riscos de uma diminuição na vida útil e contaminação do produto final (JEFFERSON, 2018).

O funcionamento da válvula pode ser observado na Figura 16. Quando a bobina solenoide é energizada, o líquido provindo do ponto “A” circula através da saída “F”, do contrário, a circulação é interrompida.

Figura 16: Princípio de funcionamento da válvula solenóide.



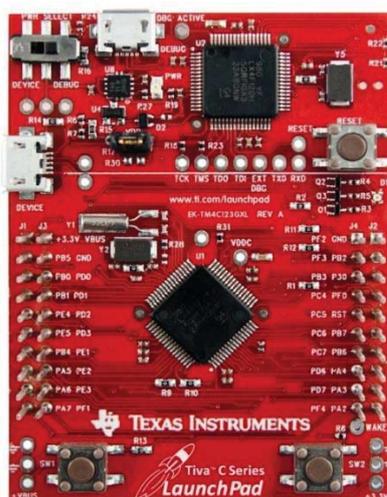
Fonte: Com adaptação de RW ENGENHARIA, (2017).

A aplicação dessa válvula no sistema para microcervejarias seria basicamente a interligação dos processos sem a necessidade da abertura manual.

2.6 MICROCONTROLADOR ARM CORTEX M4

Os microcontroladores ARM são dispositivos extremamente utilizados no desenvolvimento de sistemas embarcados, pois tem como característica uma alta capacidade de processamento, 32 bits e frequência máxima de clock de 80 MHz, o que torna uma ótima escolha para a aplicação (UP, 2016). Na Figura 17 podemos observar o microcontrolador TM4C123GH6PM da Texas Instruments.

Figura 17: Placa de desenvolvimento TM4C123GXL da Texas Instruments.



Fonte: (TI, 2018)

O microcontrolador citado acima, será peça chave na execução do projeto proposto. Partindo do controle de temperaturas, o núcleo ARM Cortex M4 realizará o controle de todo o processo de acionamento, interface e comunicação com o usuário.

2.7 BOMBA DE RECIRCULAÇÃO

Recirculação é a filtragem do mosto feita após a mosturação, que no caso do uso de fundo falso, é realizada também durante o aquecimento. O fundo falso, melhora a qualidade da recirculação e mata qualquer possibilidade de queima do malte (DINSLAKEN, 2017).

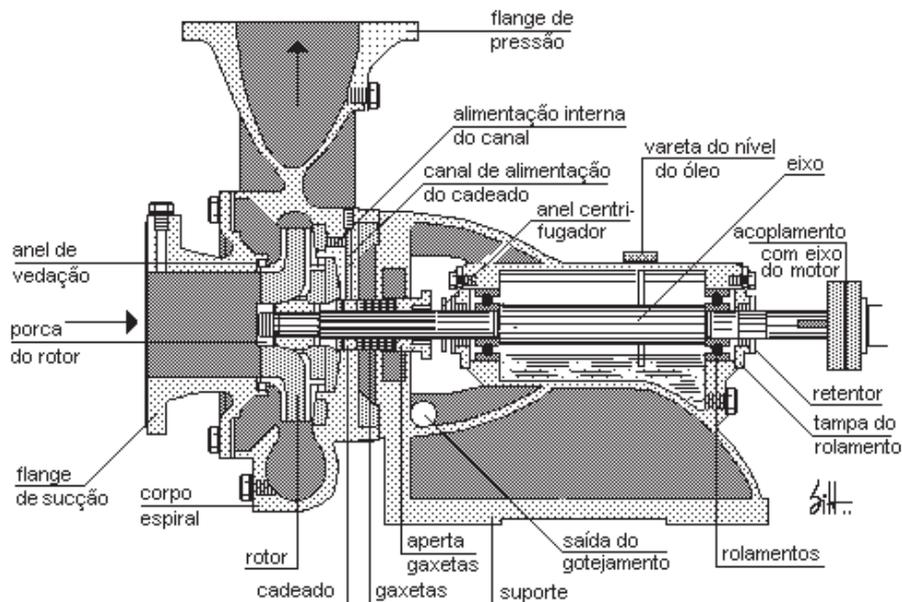
A recirculação, serve para clarificar o mosto e retirar dele partículas sólidas que ficariam suspensas na cerveja. Durante o aquecimento, serve para não deixar o mosto caramelizar (DINSLAKEN, 2017).

O esquema geral de recirculação do mosto é sempre feito dessa maneira: primeiro se retira o líquido pela parte de baixo da panela e depois joga ele novamente pela parte de cima. Esse procedimento deve ser realizado até que o mosto saia claro e sem sedimentos pela torneira (DINSLAKEN, 2017).

Para realizar esses processos, será utilizada uma bomba centrífuga atóxica, que funciona por um motor elétrico monofásico.

Bombas centrífugas são bombas hidráulicas que têm como princípio de funcionamento a força centrífuga através de palhetas e impulsores que giram no interior de uma carcaça, jogando líquido do centro para a superfície do conjunto girante. A carcaça é a parte da bomba onde, em seu interior, a energia de velocidade é transformada em pressão, possibilitando assim o líquido alcançar o ponto final de curso. É no seu interior que está instalado o eixo rotor, tornando possível a impulsão do líquido, como ilustrado na Figura 18 (EBAH, 2015).

Figura 18: Corte esquemático de uma bomba centrífuga típica.



Fonte: (EBAH, 2015)

2.8 SISTEMA COMERCIAL DE PRODUÇÃO DE CERVEJA

Pode-se encontrar à venda, um sistema com funcionamento idêntico ao projetado, com receitas salvas, controle independente de funções e acionamentos de resistências elétricas, desenvolvido pela empresa BeerMax, mostrado na Figura 19. O equipamento se chama “Controlador BeerMax Herms” e tem um custo de R\$ 850,00, enquanto que o sistema projetado teve um custo médio de materiais de R\$ 600,00, mostrando que o sistema produzido tem um bom custo/benefício para o cervejeiro.

Figura 19: Controlador BeerMax Herms.



Fonte: (BEERMAX, 2019)

Como pode-se perceber no catálogo do fabricante, o controlador não contempla as resistências elétricas para aquecimento e não possui possibilidade de inserção de válvulas, deixando clara a vantagem do sistema projetado, frente a este sistema comercial.

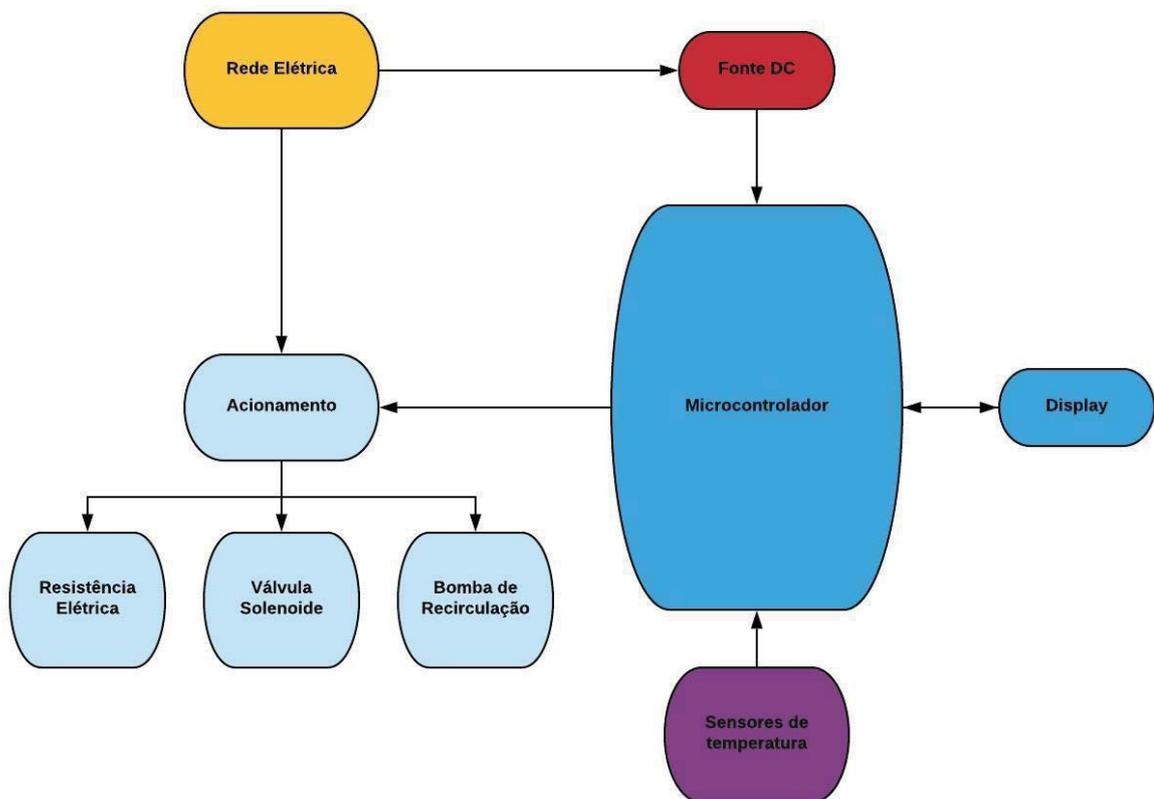
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O desenvolvimento de um sistema de automação para microcervejarias artesanais, parte do pressuposto que o usuário possa realizar suas principais atividades de produção de cerveja com maior facilidade, segurança e confiabilidade.

A realização do presente trabalho, tem como foco o controle de temperatura do mosto cervejeiro, acionamento de resistências elétricas, controle de tempo dos processos e interação dos procedimentos com o usuário. O diagrama de blocos do projeto pode ser observado na Figura 20.

Esse projeto terá o seu desenvolvimento em parceria com uma microcervejaria artesanal situada na cidade de Tapejara, estado do Rio Grande do Sul, com nome de microcervejaria Caravaggio. A partir de equipamentos já adquiridos pelo proprietário, será realizada a automação dos mesmos e a implementação do sistema.

Figura 20: Diagrama de blocos do projeto.



Fonte: O autor (2019).

3.1 ESTRUTURA MECÂNICA

A estrutura mecânica da microcervejaria tem equipamentos próprios para fabricação de cerveja, tais como painéis termicamente isolados de aço inox, conexões e tubos. Os componentes adicionais, serão inseridos de forma que se obtenha um bom layout, com conforto e segurança ao usuário.

A Fotografia 1 mostra um exemplo de microcervejaria artesanal com todos os equipamentos instalados. A seta número 1 corresponde ao tanque de mosturação, seguido do tanque de fervura representado pelo número 2 e por último o número 3 que é o tanque de água de lavagem.

Fotografia 1: Microcervejaria artesanal automatizada.



Fonte: Com adaptação de Ibelli (2014).

A Fotografia 2 mostra o tanque de água de lavagem, um dos equipamentos da microcervejaria. Na lateral, foi inserido um sensor de temperatura para medir a temperatura da água e acionar conforme necessidade, a resistência elétrica inserida dentro do tanque.

Fotografia 2: Tanques de água de lavagem.



Fonte: O autor (2018).

Em seguida, a Fotografia 3 mostra a panela de mosturação com as resistências elétricas já acopladas no seu interior. Foi colocado ainda um fundo falso (Fotografia 4), inserido acima da válvula utilizada para extrair o líquido, que melhora a qualidade da recirculação e da lavagem do mosto.

Na Fotografia 3, os sensores de temperatura foram acoplados conforme seta número 1 no interior da panela com uma adaptação na estrutura mecânica, chamado poço térmico, possibilitando inseri-lo externamente pela tampa.

Na Fotografia 4, a seta número 1 representa o fundo falso da panela, onde é fixo acima das resistências elétricas, possibilitando a recirculação apenas do líquido.

Fotografia 3: Tanque de mosturação com resistências elétricas.



Fonte: O autor (2018).

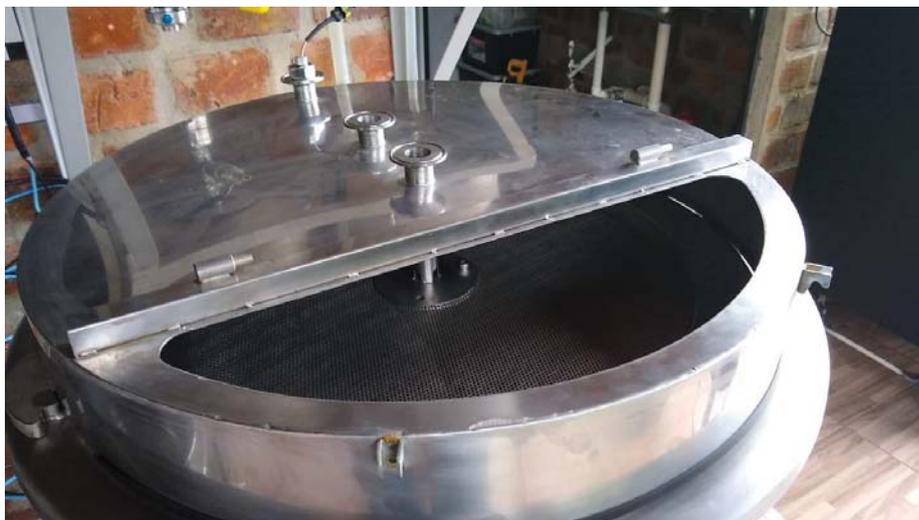
Fotografia 4: Tanque de mosturação com fundo falso.



Fonte: O autor (2019).

Na Fotografia 5 podemos observar a parte superior do fundo falso, onde o malte se encontra no meio. O mosto recirculado se espalha pela panela não deixando com que o malte entre em contato com a resistência elétrica, evitando qualquer tipo de queima.

Fotografia 5: Fundo falso superior.



Fonte: O autor (2018).

Para realizar a recirculação do mosto durante o processo de mostura, e depois para o resfriamento após a fervura, será utilizada uma bomba centrífuga sanitária em aço inoxidável polido, de uso exclusivo para transferência de líquidos, como mostrado na Fotografia 6.

O motor da bomba tem por características: monofásico, 220 (V), 0.5 CV e 3450 RPM.

Fotografia 6: Bomba de recirculação.



Fonte: O autor (2018).

3.2 DISPLAY

A comunicação entre o usuário e o sistema será realizada a partir de um display touch capacitivo microcontrolado de 3,5” da fabricante NEXTION modelo NX4832T035. Tendo em vista que esse display tem memória interna e processador próprio, não será necessário consumo de memória do microcontrolador principal para a construção da interface. Seu software próprio chamado “Nextion Editor”, disponibiliza ao projetista vários efeitos gráficos, fontes e rotinas, as quais comunicam-se diretamente com o microcontrolador principal a partir de uma saída serial RS232.

3.3 TELAS DE PROCESSO

O design da interface com usuário para o display gráfico segue representado na Figura 21, onde pode-se observar a tela inicial com a imagem da microcervejaria.

Figura 21: Tela inicial da interface com usuário.



Fonte: O autor (2018).

Ao clicar em qualquer lugar da tela, o sistema passa para o menu principal, onde o processo a ser realizado pode ser escolhido, sejam eles: água de lavagem, mosturação, fervura ou acionamento da bomba de recirculação, conforme Figura 22.

Figura 22: Tela para escolha do processo.

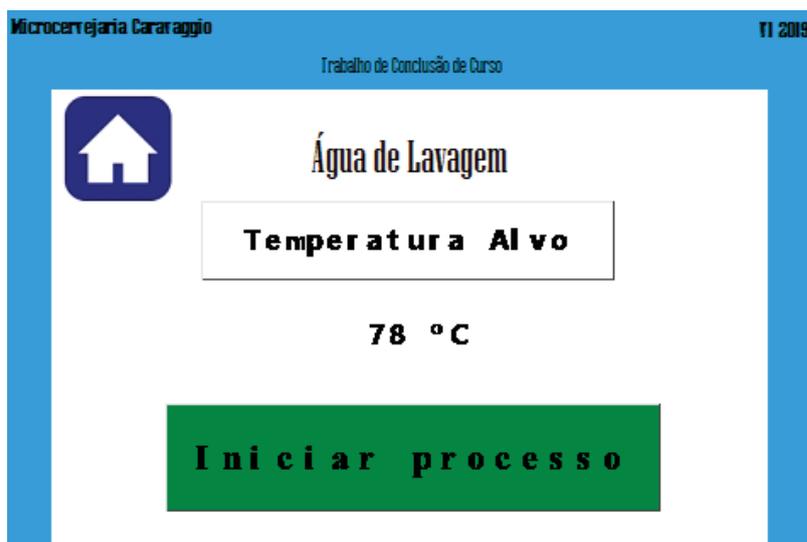


Fonte: O autor (2019).

3.3.1 Água de Lavagem

Ao selecionar o processo de “Água de Lavagem”, o usuário é redirecionado a outra tela onde a temperatura para a água de lavagem está já pré-selecionada em 78 °C. Clicando no ícone “Iniciar processo” o aquecimento se inicia, conforme Figura 23.

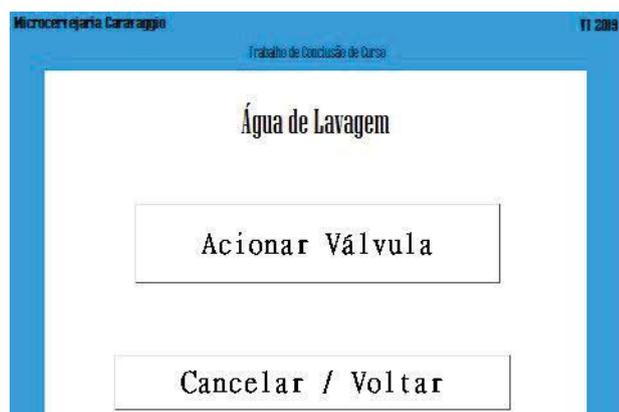
Figura 23: Tela do processo de água de lavagem.



Fonte: O autor (2019).

O sistema está preparado para o uso de válvulas solenoides, onde após o término do processo, fica disponível o acionamento da válvula, por meio de um relé, para o transporte da água ou do mosto para outras panelas, como mostra a Figura 24.

Figura 24: Tela para controle de válvulas.



Fonte: O autor (2019).

3.3.2 Bomba de Recirculação

No decorrer do processo, se o operador da microcervejaria desejar acionar apenas a bomba de recirculação para clarificar o mosto ou filtrar por mais tempo o processo, clicando no ícone “Recirculação”, é acionada apenas a saída para a bomba centrífuga, onde o usuário controla conforme seu desejo quando ligar ou desligar pelo display, representado na Figura 25.

Figura 25: Tela de acionamento específico da bomba centrífuga.



Fonte: O autor (2019).

3.3.3 Mosturação

Ao selecionar o processo de “Mosturação”, o usuário acessa outra tela onde tem-se três receitas de cervejas separadas por modelos: 1, 2 e 3.

O primeiro modelo, é caracterizado por cervejas com paladar mais simples, tais como: Indian Pale Ale, American Pale Ale e Session Ipa. O segundo modelo, tem uma característica similar do primeiro, porém uma rampa a mais de temperatura, o que implica em cervejas com mais acidez, caracterizando por exemplo: Strong Golden Ale, Scotch Ale, Porter e English Pale Ale. O terceiro e último modelo, é indicado para cervejas feitas com a base de trigo, tais como Weiss Bier e Witbier, onde o processo enzimático deve passar por uma maior variação. Na Figura 26, observa-se a tela representando-os.

Clicando no ícone do modelo desejado, a interface redireciona a uma tela específica onde são apresentadas as características da mostura para o estilo de cerveja, podendo em sequência iniciar a receita desejada, conforme Figuras 27, 28 e 29.

Figura 26: Tela de seleção do modelo de cerveja para mostura.



Fonte: O autor (2019).

Figura 27: Receita da mosturação para modelo 1.



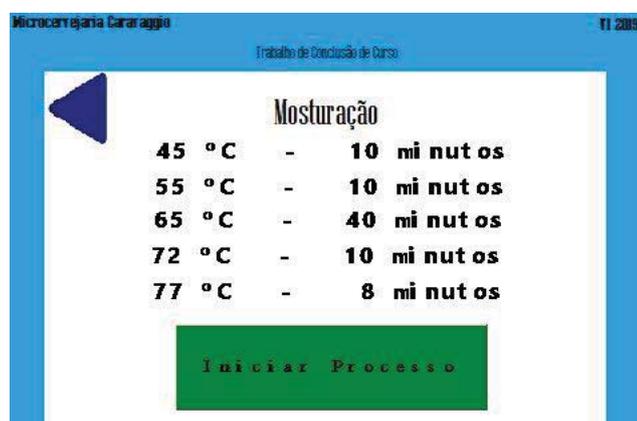
Fonte: O autor (2019).

Figura 28: Receita da mosturação para modelo 2.



Fonte: O autor (2019).

Figura 29: Receita da mosturação para modelo 3.



Fonte: O autor (2019).

3.3.4 Fervura

Por fim, a tela de “Fervura”, possibilita a fervura do mosto cervejeiro por 60 minutos a partir do momento do início da ebulição, conforme Figura 30. O processo de contagem do tempo se inicia quando o sistema atinge 95 graus, que é iniciada a fervura. Foi regulada uma histerese para não ultrapassar os 102 graus, desligando a resistência e só ligando novamente se voltar aos 97 graus, dentro dos 60 minutos de processo.

Figura 30: Tela para o processo de fervura.



Fonte: O autor (2019).

3.3.5 Resfriamento

O resfriamento é feito a partir da bomba de recirculação e as conexões entre a bomba e a serpentina. Ao apertar no ícone de “recirculação” mostrado no item 3.3.2, o usuário aciona a bomba de recirculação e realiza o resfriamento do mosto.

3.4 MÓDULO DE RELÉS

Esse dispositivo foi desenvolvido para intermediar o acionamento das resistências elétricas, bomba centrífuga e válvulas se desejado. A partir de uma saída ativo alto de um pino do microcontrolador, consegue-se realizar o acionamento de um relé. Neste circuito, é realizada a isolamento dos sinais oriundos do microcontrolador utilizando o optoacoplador 4N25. São utilizados também resistores para limitar a corrente de saída e garantir as

condições de acionamento mínimas do optoacoplador, conforme informado em seu Datasheet. Equação (7):

$$5.1V - 0,6V - R_1 \cdot 10mA = 0 \quad (7)$$

$$R_1 = \frac{5.1V - 0,6V}{10mA}$$

$$R_1 = 450\Omega$$

Adotado:

$$R_1 = 470\Omega$$

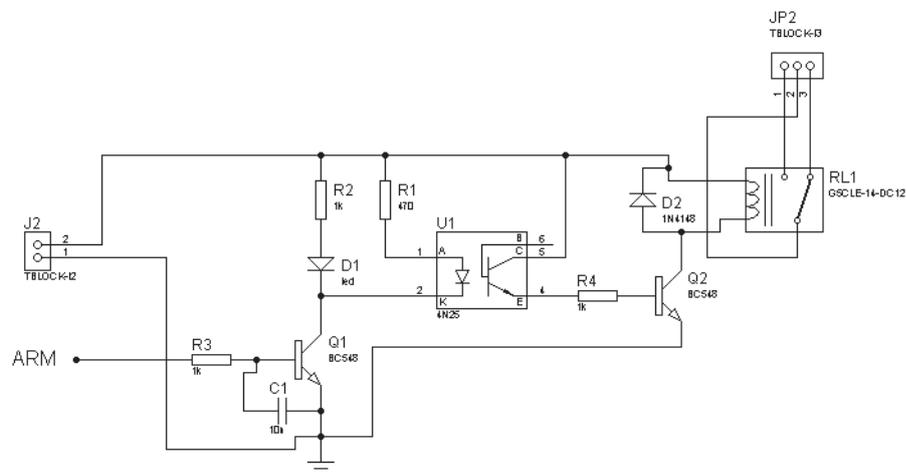
O transistor Q1 serve para possibilitar a inclusão de um led no circuito, deixando isolado a saída do microcontrolador, que tem uma corrente muito baixa. Quando o transistor é alimentado, ele vira uma chave fechada, assim acionando o optoacoplador. O transistor Q2 no momento em que o optoacoplador é acionado, é polarizado, fazendo o chaveamento também do relé. Equação (8):

$$5.1V - 0,7V - R_4 \cdot 4,5mA = 0 \quad (8)$$

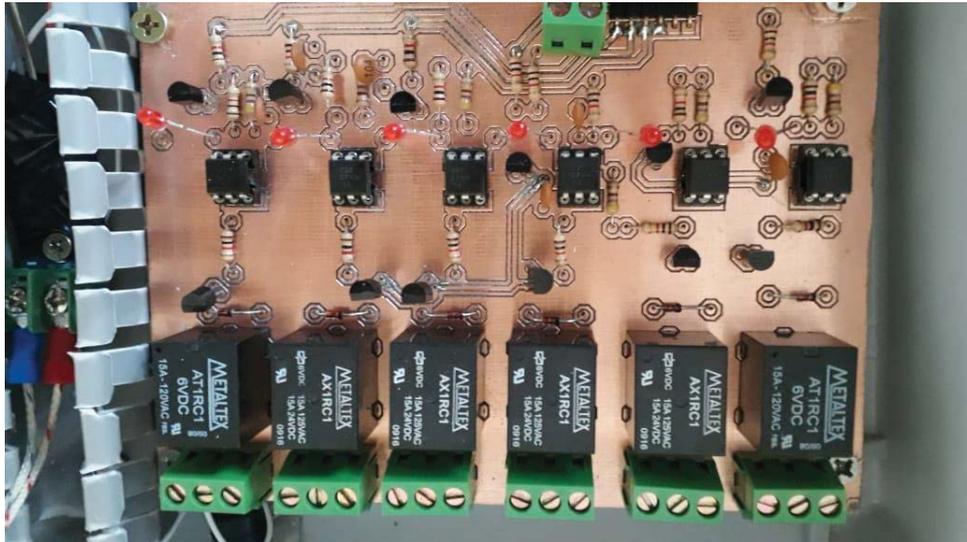
$$R_4 = 1\text{ k}\Omega$$

O acionamento foi disposto em 6 relés independentes entre si, para realizarem eventos distintos, como pode ser observado na Figura 31 e na Fotografia 7 a placa soldada com todos os componentes eletrônicos.

Figura 31: Esquema elétrico da placa de um acionamento.



Fotografia 7: Placa montada com os componentes eletrônicos.



Fonte: O autor (2019).

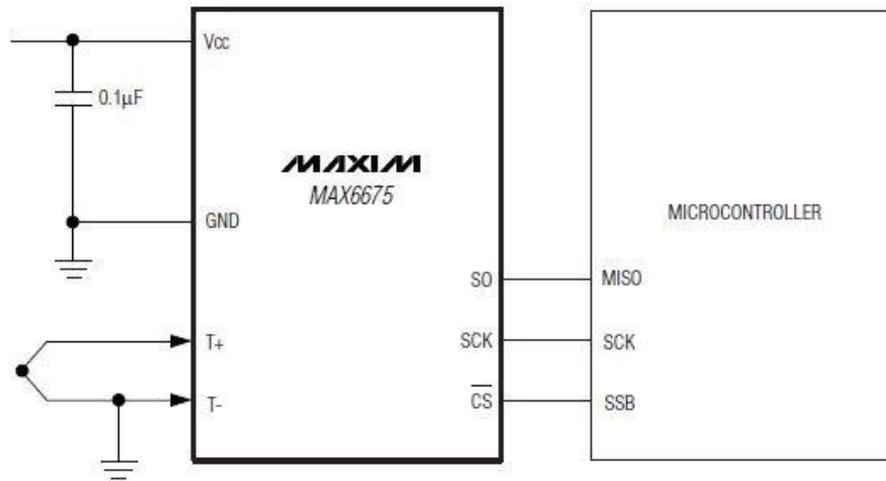
Também foi adquirida, uma placa com 8 relés já soldada e isolada, para qualquer eventual problema. Essa placa tem circuito idêntico ao projetado na Figura 31, apenas com a diferença que requer ativo baixo em seus terminais, para o acionamento dos relés.

3.5 SENSORES DE TEMPERATURA

Os sensores de temperatura utilizados foram Termopares do tipo K, com gama de temperatura e precisão suficientes para a aplicação, cerca de 0,25 °C.

Todos os termopares utilizados são inclusos de um módulo leitor de temperatura MAX6675 que faz a conversão e comunica-se com o microcontrolador via SPI, mostrado na Figura 32. O módulo possui compensação de junção-fria e digitaliza temperaturas de termopares do tipo K com resolução de 12 bits.

Figura 32: Circuito de aplicação típica do CI MAX6675.



Fonte: Com adaptação de Maxim Integrated (2002).

A partir do circuito recomendado pelo fabricante, foi adquirida uma placa já com as entradas e saídas devidamente prontas para uso do circuito integrado, como observado na Figura 33.

Figura 33: Placa com circuito de aplicação típica do CI MAX6675 e Termopar tipo K .



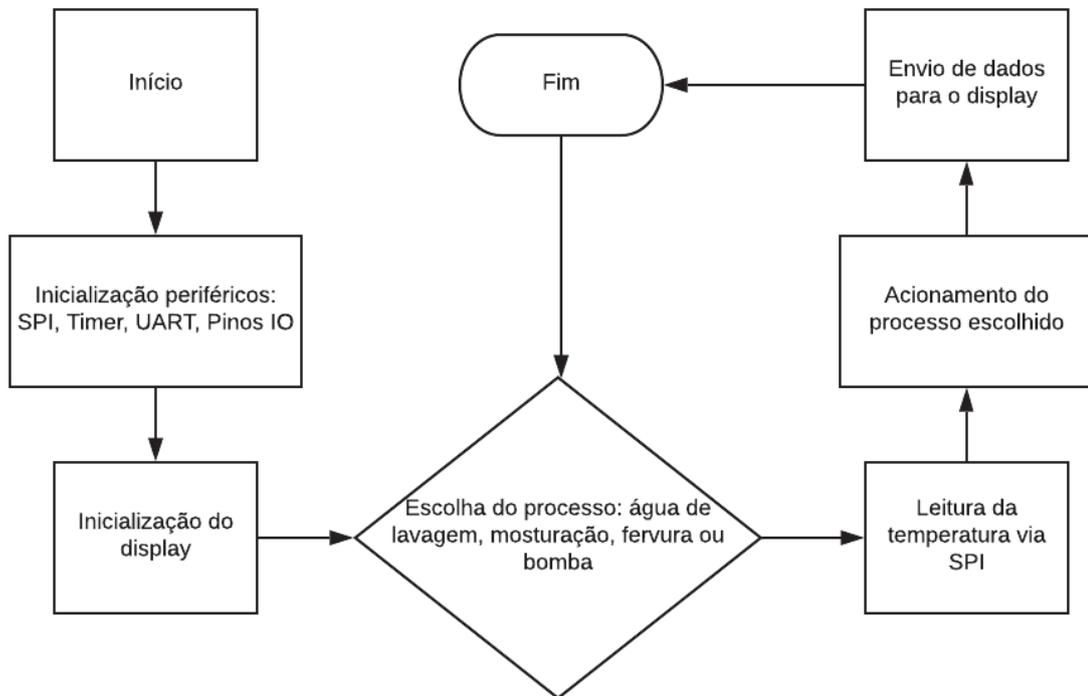
Fonte: O autor (2019).

3.5 FIRMWARE

O firmware do microcontrolador é responsável pela comunicação com o display, interpretação dos sensores de temperatura, acionamento dos equipamentos necessários para cada procedimento e controle do tempo dos processos.

A Figura 34 demonstra o fluxograma das principais ações do firmware carregado no microcontrolador.

Figura 34: Fluxograma geral do firmware.



Fonte: O autor (2019).

O programa inicia com a ativação de periféricos, SPI, timer, UART, pinos de IO e em seguida faz a inicialização do display Nextion. A partir disso, o sistema está pronto para uso, onde o usuário inicia com a tela da sua microcervejaria e logo em seguida, o menu de processos, onde o usuário seleciona o procedimento desejado. A partir do momento que um dos processos tem início, também é realizada a comunicação entre o microcontrolador e o sensor de temperatura correspondente a tal.

No Quadro 4, pode-se observar a utilização de cada pino do microcontrolador detalhadamente

Quadro 4: Definição dos pinos do microcontrolador.

Utilização	Pino do ARM	Função
Comunicação Serial	RB0	Rx
	RB1	Tx
SPI0	RA2	Clk
	RA3	Fss
	RA4	Rx
SPI1	PF0	Rx
	PF2	Clk
	PF3	Fss
SPI2	PB4	Clk
	PB5	Fss
	PB6	Rx
Pinos IO	PD0	Bomba de recirculação
	PD1	Água de lavagem
	PD2	Mosturação
	PD3	Fervura
	PD6	Buzzer
	PE1	Reserva

Fonte: O autor (2019).

3.5.1 Monitoramento da Temperatura

Os sensores de temperatura, deixam o usuário informado da temperatura instantânea da panela processada. Dependendo da receita escolhida, as temperaturas alvo e os tempos de repouso variam, estes que já se encontram gravados no microcontrolador.

Os termopares realizam a comunicação com o processador a partir do protocolo SPI, onde selecionamos qual sensor está sendo utilizado. O processo de água de lavagem está no SPI0, o de mosturação no SPI1 e o de fervura no SPI2.

3.5.2 Acionamento das Saídas

Conforme o andamento dos processos, as resistências elétricas e a bomba de recirculação são acionadas por meio de contadoras. Cada panela tem um acionamento individual, automatizando desta maneira, ainda mais o processo.

A partir de uma saída ativo alto do microcontrolador, a placa de relés é acionada concomitantemente, assim seccionando a contatora. O seccionamento acontece quando a temperatura alvo é atingida, ou quando o usuário deseja cancelar/sair do processo realizado no momento.

3.5.3 Comunicação com o Display

A comunicação com o display Nextion é realizada a partir da saída serial, onde se envia e recebe dados. A partir de uma interrupção na UART1, cada vez que é recebido um dado no display, o firmware verifica qual o desejo do usuário.

3.5.4 WTimer 0A

A partir do momento que é disparado o contador do WTimer0A, o sistema aguarda o sinal da interrupção do mesmo, onde sinaliza que o tempo determinado foi atingido. O WTimer0A foi configurado como 64 bits e modo One Shot.

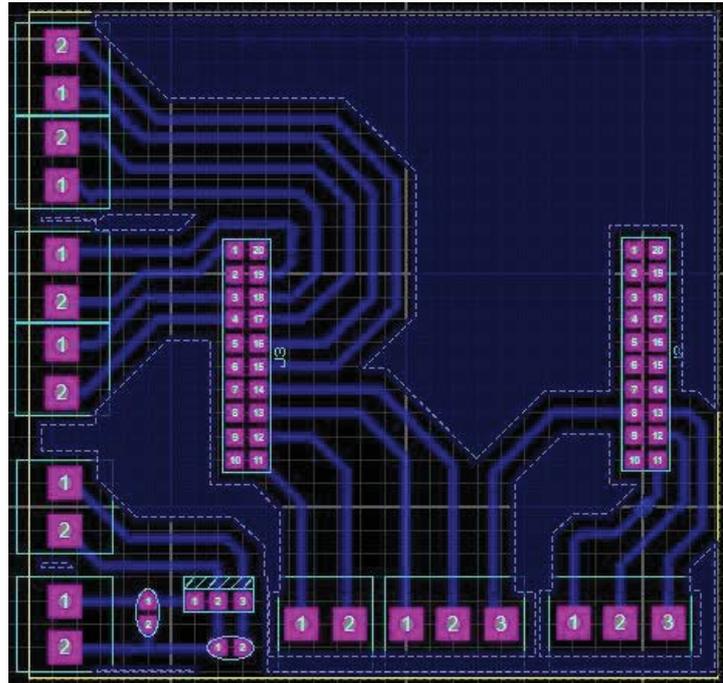
No momento em que se atinge a temperatura alvo, o Timer é ativado, contando o tempo de repouso para o reinício do processo.

3.6 PLACA PARA ALOJAMENTO DO MICROCONTROLADOR

Para o alojamento do microcontrolador, foi confeccionada uma placa de circuito impresso possibilitando fácil acesso dos pinos e também a estabilização da tensão da fonte que tem saída de 5,1 V, com um regulador de tensão 7805, alimentando tanto o display como o próprio controlador. Na Figura 35 é demonstrado o circuito no Proteus da placa e na Fotografia 8 o resultado final da placa.

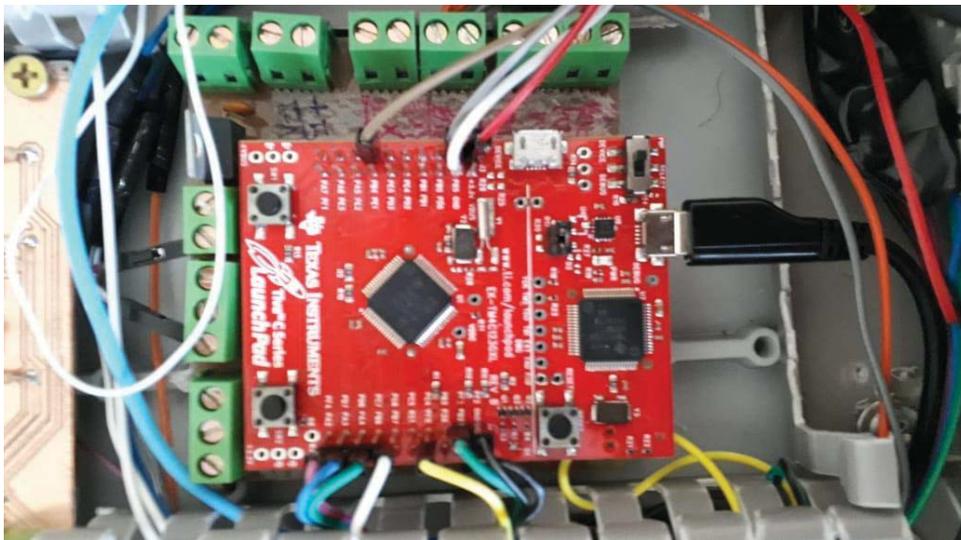
A fonte utilizada para alimentação dos circuitos é uma fonte comercial de entrada 220 V e saída 5,1V / 2,5 ampéres, que supre perfeitamente a necessidade dos circuitos.

Figura 35: Desenho da placa no Proteus.



Fonte: O autor (2019).

Fotografia 8: PCI fresada e montada com os componentes.



Fonte: O autor (2019).

3.7 CIRCUITO SNUBBER

Foi adicionado entre a bobina da contatora e o relé, um circuito snubber composto por um resistor de 100 (Ω) e um capacitor de poliéster de 100 nF tipo x2.

Os snubbers, são circuitos amortecedores, ou seja, filtram os transientes de alta tensão que ocorrem na comutação de cargas, protegendo os contatos do relé e absorvendo a energia gerada no acionamento de cargas indutivas (NEWTON BRAGA, 2015).

O cálculo do snubber foi realizado da seguinte maneira: primeiramente calcula-se o valor mínimo para o resistor do filtro, dividindo o valor da tensão pela corrente máxima aplicada segundo informações da contatora de potência:

$$R > \frac{220V}{3A} = 73 (\Omega) \quad (9)$$

Logo, o valor adotado foi $R = 100 (\Omega)$.

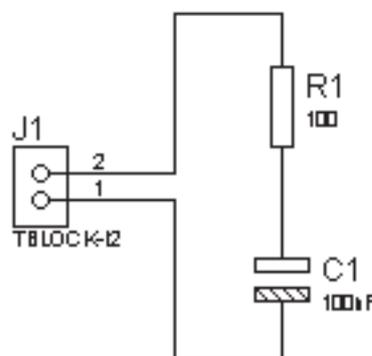
Por fim, calcula-se o valor da capacitância do snubber, baseado na frequência de comutação da contatora de potência:

$$C = \frac{1}{220^2 \times 60 \text{ Hz}} = 340 \text{ nF} \quad (10)$$

Aproximando para um valor comercial conhecido $C = 100 \text{ nF}$.

Esse circuito tem como principal função, a proteção e o filtro de transientes provindos da bobina da contatora, podendo ser observado na Figura 36.

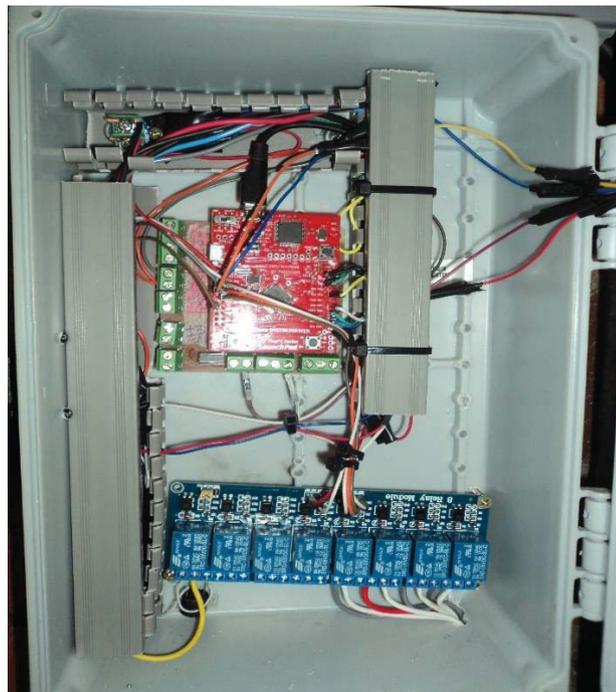
Figura 36: Circuito Snubber proposto.



3.8 PROTÓTIPO E IMPLEMENTAÇÃO

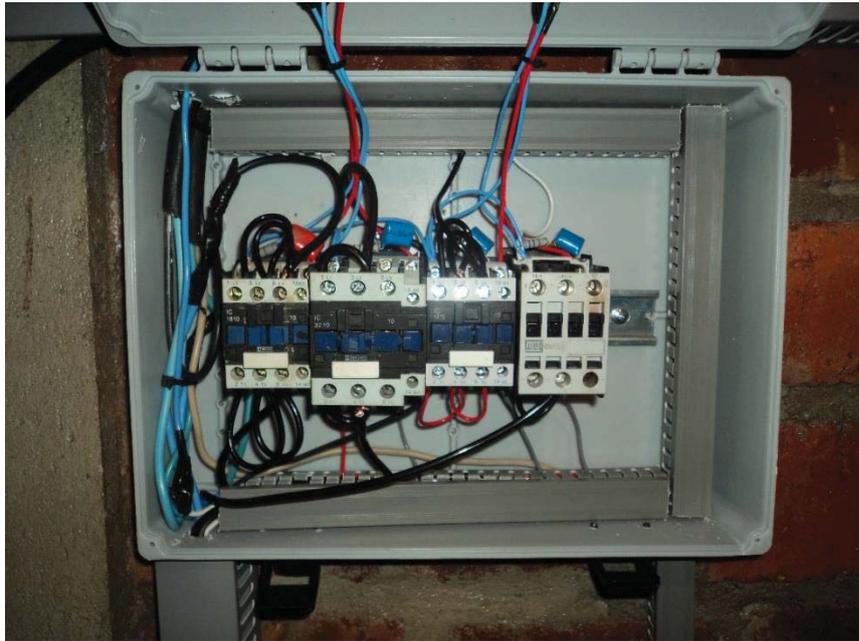
Depois de testadas as placas em protoboard, com o Software Proteus foram desenvolvidas as PCI's (placas de circuito impresso), sendo realizado o desenho completo de cada circuito, como demonstrado nos itens 3.3 e 3.5. A placa de relés foi necessário o design com trilhas dupla face. Na Fotografia 9 é demonstrado a caixa de comando de sinais, com o display, microcontrolador e acionamento de relés. Na Fotografia 10 pode-se observar a segunda caixa de comando, onde estão dispostas as contatoras, para o acionamento de potência. Na Fotografia 11 pode-se observar o quadro de disjuntores, com uma proteção individual para cada circuito de acionamento. O desenho completo dos circuitos encontra-se em APÊNDICE A.

Fotografia 9: Caixa de comando com microcontrolador e placa de relés.



Fonte: O autor (2019).

Fotografia 10: Caixa de comando de potência.



Fonte: O autor (2019).

Fotografia 11: Quadro de disjuntores.



Fonte: O autor (2019).

No quadro de disjuntores, tem-se um disjuntor geral bifásico e duas fases para alimentar todos os circuitos. Uma fase está exclusivamente sendo usada para a câmara fria, onde se tem um alto consumo de energia, e a outra para os processos da microcervejaria. O disjuntor geral e o da câmara fria estão representados na Fotografia 11 pelos números 1 e 2 respectivamente.

Foi dimensionado, um disjuntor individual para cada resistência elétrica de 8000 W, representados na Fotografia 11 pelos números 3, 4 e 5, onde tem-se resistência de mostura, lavagem e fervura.

O cálculo para dimensionamento dos disjuntores e dos condutores foi realizado da seguinte forma:

$$I_{resistência} = \frac{8000 W}{220 V} = 36 (A) \quad (11)$$

Logo, os disjuntores colocados foram de 40 ampéres, protegendo seguramente os circuitos de potência. Baseado na corrente, foram utilizados cabos 6 mm² para a ligação das resistências, os mesmo que tem capacidade máxima de corrente de 36 ampéres, suprimindo perfeitamente a corrente máxima demandada.

O dimensionamento das contadoras foi realizado conforme a potência da carga acionada, para as resistências de 8000W foram utilizadas contadoras de 30 ampéres, com os contatos interligados, suprimindo com tranquilidade a demanda necessária.

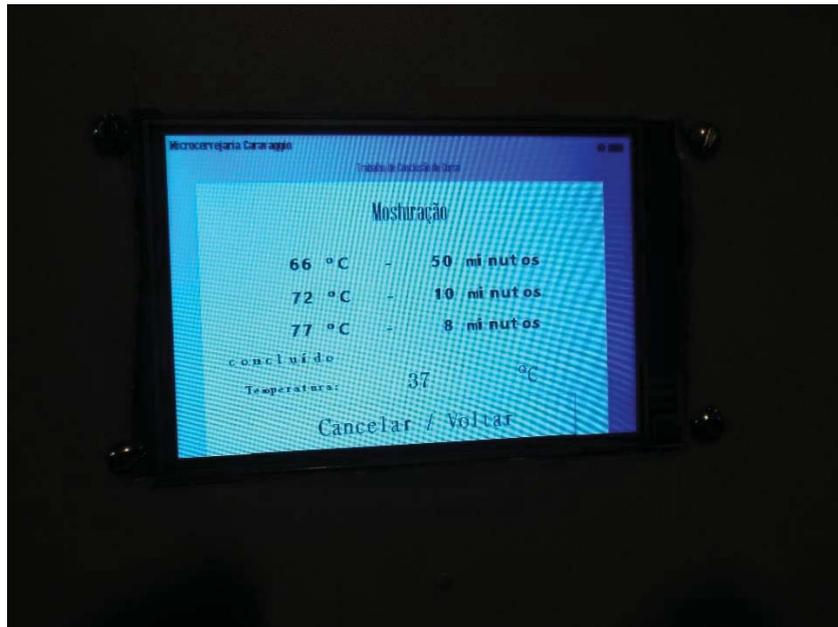
Para a bomba de recirculação que tem 0,5 Cv, foi utilizada uma contadora de 18 ampéres.

Também foi colocado um disjuntor de 25 ampéres exclusivamente para os circuitos de comando e controle da cervejaria, onde será aplicada a automação, representado na Fotografia 11 pelo número 6.

Alguns testes foram realizados e a melhor solução encontrada foi o filtro snubber, que até então não havia sido adicionado no sistema, corrigindo assim todos os problemas de interferência presentes.

A Fotografia 12 apresenta a caixa de comando de sinais com o sistema em funcionamento.

Fotografia 12: Processo de mosturação em funcionamento.



Fonte: O autor (2019).

Depois de fixados todos os quadros e eletrocalhas, o sistema ficou pronto para os testes e aquisição de resultados. Nas eletrocalhas de 150 mm se dispõe os cabos de potência, enquanto nas eletrocalhas de 50 mm, estão os cabos de lógica e sinais, provenientes dos sensores. Na Fotografia 13, pode-se observar a montagem do sistema na microcervejaria.

Fotografia 13: Montagem do sistema na microcervejaria.



Fonte: O autor (2019).

Para o acoplamento dos sensores nas painelas, foi utilizado um tubo de alumínio, integrado na tampa ou na lateral de cada equipamento, onde se insere o termopar, detectando a temperatura do interior da panela, mostrado na Fotografia 14.

Com o objetivo de facilitar a limpeza do proprietário, foram colocados conectores na extremidade do termopar, onde o encaixe fica rápido e de fácil manuseio para o usuário, conforme Fotografia 14.

Fotografia 14: Poço térmico para inserção do termopar e conector do cabo.



Fonte: O autor (2019).

Na Fotografia 15, pode-se observar o resultado final da montagem do sistema na microcervejaria.

Fotografia 15: Sistema montado e pronto para o funcionamento.



Fonte: O autor (2019).

4 TESTES E RESULTADOS

Após a certificação que os circuitos montados estavam em pleno funcionamento, o projeto foi aplicado e testado, tendo em vista os equipamentos do proprietário. A partir do término da execução do projeto, foram iniciados os testes com a água de lavagem, mosturação e fervura.

Na mosturação, o usuário determina qual modelo de mostura deseja fazer e inicia o processo, deixando todo o controle a cargo do sistema automático. O único trabalho que ele deve realizar é inserir os insumos na panela e autorizar os inícios de cada procedimento.

Para o controle de cada passo do processo, o usuário recebe um aviso sonoro vindo de um buzzer, no final de cada etapa produtiva. As rampas de temperatura de cada modelo como mostradas anteriormente nas Figuras 27, 28 e 29, são demonstradas no Quadro 5.

Quadro 5: Temperaturas e tempos alvo da mosturação.

Mosturação	Temperatura Alvo	Tempo de repouso
Modelo 1	66 °C	60 minutos
	77 °C	8 minutos
Modelo 2	66 °C	50 minutos
	72 °C	10 minutos
	77 °C	8 minutos
Modelo 3	45 °C	10 minutos
	55 °C	10 minutos
	65 °C	40 minutos
	72 °C	10 minutos
	77 °C	8 minutos

Fonte: O autor (2019).

4.1 TESTE COM ÁGUA

Primeiramente, foram realizados testes apenas com água, para a certificação do funcionamento do sistema, iniciando pela panela de mostura, onde o sensor de temperatura foi acoplado na tampa por meio de um poço térmico, mostrado na Fotografia 16.

Fotografia 16: Painela de mostura em processo.



Fonte: O autor (2019).

Depois, os testes foram feitos na painela de água de lavagem, onde também foi inserido um sensor no poço térmico lateral, conforme Fotografia 17. A seta número 1 indica o poço térmico onde está acoplado o sensor na painela. O processo teve êxito, atingiu-se a temperatura de 77 – 78 °C e um aviso sonoro foi emitido para avisar o término.

Fotografia 17: Painela de água de lavagem.

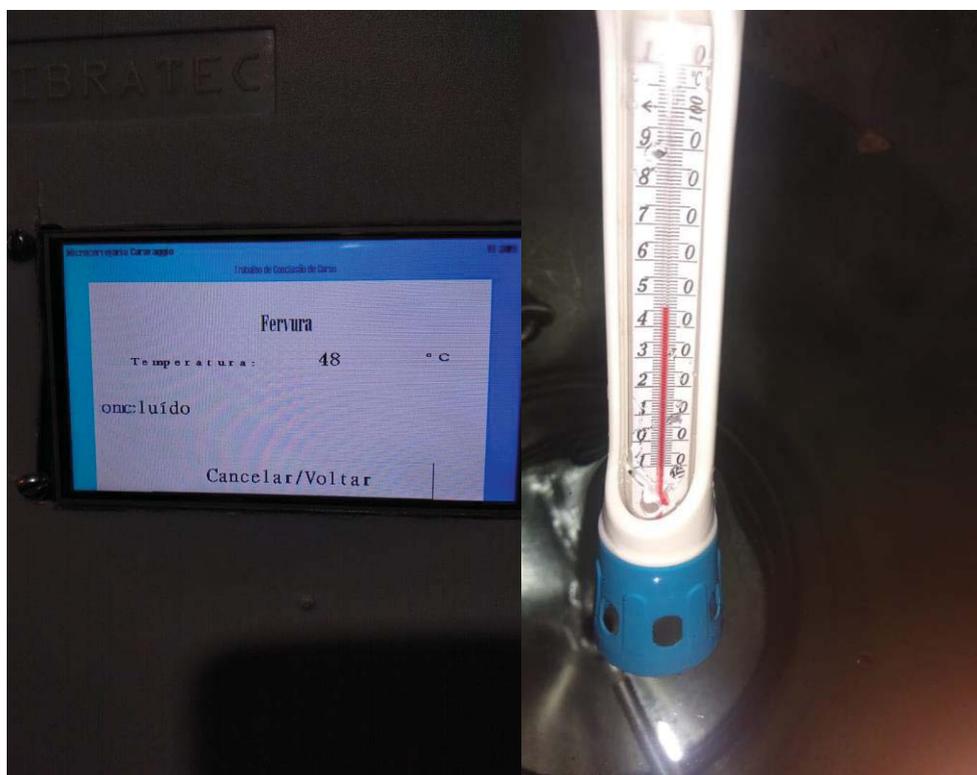


Fonte: O autor (2019).

Por último, o processo de fervura foi testado com seu respectivo sensor. A fervura se manteve por 60 minutos a partir do momento que inicia a ebulição do mosto, o que foi feito perfeitamente pelo sistema automático, medindo a temperatura de ebulição, essa que fica em torno de 95 a 97 °C, e por fim, conta os 60 minutos a partir da chegada da temperatura.

Os sensores retornaram valores precisos, os quais foram conferidos por um termômetro de mercúrio no decorrer de cada processo, como exemplificado na Fotografia 18 e detalhado no Quadro 6.

Fotografia 18: Processo de fervura em andamento.



Fonte: O autor (2019).

Quadro 6: Temperaturas estimadas e atingidas pelo sistema apenas com água.

Processo	Temperatura Alvo	Temperatura termopar	Temperatura termômetro
Água de Lavagem	78 °C	78 °C	78 °C
Mosturação	66 °C	66 °C	66 °C
Fervura	97 °C	97 °C	97 °C

Fonte: O autor (2019).

4.2 TESTE DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA

Depois de ser aprovado o teste com água, foi realizado uma brassagem com todos os insumos para a fabricação de cerveja e o sistema automático. Os processos realizados foram idênticos aos demonstrados no ítem 4.1, com a diferença da adição de insumos, como mostra a Fotografia 19.

Fotografia 19: Processo de mosturação.



Fonte: O autor (2019).

Com os insumos na panela, foi observada uma diferença de 2 a 3 graus entre a temperatura do sensor e a medida pelo termômetro, resultado do contato não direto do sensor de temperatura com o líquido, pois o malte grudou no poço térmico prejudicando a medida do sensor.

Pôde-se concluir com isso que devem ser feitos ajustes mecânicos na panela para evitar com que o malte entre em contato com o sensor de temperatura, regularizando a precisão da medida de temperatura. Pode-se observar a diferença no Quadro 7.

Quadro 7: Temperaturas estimadas e atingidas pelo sistema com todos os insumos.

Processo	Temperatura Alvo	Temperatura termopar	Temperatura termômetro
Água de Lavagem	78 °C	78 °C	78 °C
Mosturação	66 °C	63 °C	66 °C
Fervura	97 °C	95 °C	97 °C

Fonte: O autor (2019).

4.3 RESULTADOS

A ideia inicial era produzir um sistema capaz de desenvolver vários processos cervejeiros de forma automática, informando o usuário via display gráfico e permitindo com que ele interagisse com a produção. Para que isso fosse possível, foram realizadas algumas melhorias mecânicas nos equipamentos da microcervejaria, alguns ainda em fase de ajuste, para atender melhor o processo que o sistema possibilita.

No decorrer dos dias, conseguiu-se finalizar parte dos ajustes mecânicos necessários para fazer uma brassagem, logo, no dia 20 de junho foi realizado o primeiro teste do sistema com uma produção de cerveja.

Em relação ao firmware, o mesmo apresenta características que foi aconselhado o uso de um nobreak, pois no caso de falta de energia, o mesmo retorna à posição inicial, apenas avisando o usuário com uma mensagem na tela inicial que o sistema foi reiniciado.

O sistema está pronto para uso, e apesar de não adquiridas pelo proprietário, já possui espera para a inserção de válvulas elétricas, como planejado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de desenvolvimento de um sistema de automação para microcervejarias artesanais foi atingida. A maior dificuldade encontrada foi no acionamento de potência, onde interferências provindas da rede elétrica atrapalhavam no correto funcionamento do microcontrolador, corrigidas posteriormente pelo filtro Snubber. Outro ponto a ser salientado se refere à queima de uma placa de relés, devido a um curto-circuito, ocasionando atraso nos testes.

Como já citado anteriormente, não foram implementadas válvulas elétricas pois o proprietário não as adquiriu ainda, devido ao alto valor, porém o sistema está preparado para a adição futura de válvulas, ficando assim como uma implementação para o futuro.

Depois dos testes realizados com água e com cerveja, pôde-se ter certeza de um resultado satisfatório, confirmando a eficácia dos procedimentos.

O firmware desenvolvido desempenhou com êxito o que foi proposto, ou seja, controle das cargas de potência, comunicação com o display, comunicação com os sensores de temperatura e controle do tempo de processo.

O proprietário ficou muito contente com o resultado do sistema, obtendo uma maior precisão e menor perda de produto.

Como sugestão para trabalhos futuros, fica a implementação de um controle de resultados, gravando o tempo com que cada temperatura demora para ser atingida, gerando um gráfico para análise da qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS

SAINT BIER, **História da Cerveja**. Disponível em: < <http://www.saintbier.com/historia-erveja> > Acesso em: 08 ago, 2018.

BREJADA, **História e o desenvolvimento das cervejas especiais no mercado americano**. Disponível em: < <https://brejada.com/brejapedia/estudos/mercado-americano> > Acesso em: 08 ago, 2018.

G1, **Infográfico mostra a história da cerveja no Brasil do início até a popularização**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/especial-publicitario/somos-todos-ervejeiros/noticia/2016/05/infografico-mostra-historia-da-erveja-no-brasil-do-inicio-ate-popularizacao.html> > Acesso em: 08 ago, 2018.

SEBRAE, **Microcervejarias ganham espaço no mercado nacional**. Disponível em: < <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/microcervejarias-ganham-espaco-no-mercado-nacional,fbe9be300704e410VgnVCM1000003b74010aRCRD>> Acesso em: 08 ago, 2018.

GROOVER, MIKELL P., **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. 3 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

OPA BIER, **História da cerveja no mundo**. Disponível em: < <https://opabier.com.br/blog/historia-da-erveja-no-mundo/> > Acesso em: 14 ago, 2018.

BIER WEIN, **História da cerveja**. Disponível em: < <http://bierwein.com.br/historiadacerveja> > Acesso em: 15 ago, 2018.

VENTURINI, WALDEMAR G.F., **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2016.

G1, **Número de cervejarias no Brasil quase dobra em 3 anos e setor volta a criar empregos**. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/pme/noticia/numero-de-ervejarias-no-brasil-quase-dobra-em-3-anos-e-setor-volta-criar-empregos.ghtml> > Acesso em: 15 ago, 2018.

HOMINILUPULO, **O que é nanocervejaria e o que é microcervejaria**. Disponível em: < <https://www.hominilupulo.com.br/cultura/o-que-e-nanocervejaria-e-o-que-e-microcervejaria/> > Acesso em: 15 ago, 2018.

PORTAL SÃO FRANCISCO, **Processo de fabricação da cerveja**. Disponível em: < <https://www.portalsaofrancisco.com.br/historia-geral/processo-de-fabricacao-da-cerveja> > Acesso em: 20 ago, 2018.

CERVEJEIRO SOLITÁRIO. **Alcalinidade residual**. Disponível em: < <http://cervejeirosolitario.blogspot.com/2016/09/alcalinidade-residual.html>> Acesso em: 20 ago, 2018.

PALMER, JOHN J., **How to brew**. 3 ed. Boulder, CO: Brewers Publications, 2006.

SCHIAVETO, PAULO. **Cerveja: a alquimia dos sabores e aromas**. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/academiadeideias/curso-cerveja-apresentao> > Acesso em: 21 ago, 2018.

SCERVINI, MICHELE. **Thermocouples Operating principles**. Department of Materials Science & Metallurgy, University of Cambridge, 2009.

CERVEJA E MALTE. **O que o lúpulo faz na cerveja**. Disponível em: < <http://cervejaemalte.com.br/blog/o-que-o-lupulo-faz-na-cerveja/> > Acesso em: 21 ago, 2018.

COMO FAZER CERVEJA. **Matérias primas**. Disponível em: < http://www.comofazercerveja.com.br/conteudo/view?ID_CONTEUDO=14 > Acesso em: 21 ago, 2018.

DREAMSTIME. **Brewery Infographics**. Disponível em: < <https://www.dreamstime.com/stock-illustration-brewery-infographics-beer-illustrations-icons-labels-symbols-design-elements-image45447530> > Acesso em: 22 ago, 2018.

USP. **Produção de cerveja**. Disponível em: < <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/ProducaoodeCervejas20150rves.pdf> > Acesso em: 23 ago, 2018.

PARIZOTTO, GABRIEL. **Automação de equipamento para fabricação de cerveja artesanal**. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso) – Departamento Acadêmico de Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, Paraná 2017.

ESCOLA SUP. AGRÁRIA DE COIMBRA. **Processo de fabrico da cerveja**. Disponível em: < http://www.esac.pt/noronha/pga/0910/Trabalhos_mod1/CERVEJA.pdf > Acesso em: 28 ago, 2018.

MUNDO DA ELÉTRICA. **O que é um termopar.** Disponível em: < <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-termopar/> > Acesso em: 28 ago, 2018.

CITISYSTEMS. **Sensor de Temperatura: Encontre o Tipo Ideal para sua Aplicação.** Disponível em: < <https://www.citisystems.com.br/sensor-de-temperatura/> > Acesso em: 28 ago, 2018.

ALUTAL CONTROLES INDUSTRIAIS. **História de termorresistência.** Disponível em: < <http://www.pt100sensores.com.br/pt100-sensores/historia-termorresistencia/> > Acesso em: 29 ago, 2018.

MELO, LEONIMER. **Sensores de temperatura: termopares.** Disponível em: < <http://www.uel.br/pessoal/leonimer/termopares.pdf> > Acesso em: 29 ago, 2018.

UNIP. **Termorresistência, instrumentação e controle.** Disponível em: < <https://eletricitamazinho.files.wordpress.com/2010/09/termoresistencia1.pdf> > Acesso em: 31 ago, 2018.

FERRARO, NICOLAU. **Os fundamentos da física.** 9 ed. São Paulo: Moderna, 2007.

BEERMAX. **Controlador BeerMax Herms.** Disponível em: < <https://beermax.com.br/loja/equipamentos/63-controlador-beermax-herms.html> > Acesso em: 18 jun, 2019.

NEWTON BRAGA. **Filtros Snubbers, por que devo usar.** Disponível em: < <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/duvidas-dos-internautas/6100> > Acesso em: 18 jun, 2019.

LANDER, CYRIL. **Eletrônica industrial, teoria e aplicações.** 1 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.

MUNDO DA ELÉTRICA. **Contator, o que é, para que serve.** Disponível em: < <https://www.mundodaeletrica.com.br/contator-o-que-e-para-que-serve/> > Acesso em: 04 set, 2018.

JEFFERSON. **Válvula solenoide o que é, para que serve.** Disponível em: < <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/valvula-solenoide.html> > Acesso em: 05 set, 2018.

RW ENGENHARIA. **Válvula solenoide.** Disponível em: < <http://www.rwengenharia.eng.br/valvula-solenoide/> > Acesso em: 05 set, 2018.

CERVBRASIL. **Mercado cervejeiro.** Disponível em: < <http://www.cervbrasil.org.br/novo->

_site/mercado-ervejeiro/ > Acesso em: 04 out, 2018.

R7. O mercado ervejeiro pelo mundo: início do século XXI. Disponível em: < <http://economia.culturamix.com/negocios/o-mercado-ervejeiro-pelo-mundo-inicio-do-seculo-xxi> > Acesso em: 04 out, 2018.

ADDTHERM. Vantagens das termorresistências. Disponível em: < <http://www.addtherm.com.br/2017/04/05/vantagens-das-termoresistencias/> > Acesso em: 04 out, 2018.

OPABIER. Diferenças entre erva artisanal e erva industrializada. Disponível em: < <https://opabier.com.br/blog/diferencas-entre-erva-artisanal-e-erva-industrializada/> > Acesso em: 04 out, 2018.

TEXAS INSTRUMENTS. ARM Cortex M4 Based MCU TM4C123. Disponível em: < <http://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL> > Acesso em: 04 out, 2018.

WEG. Contator CWB50-11-30D23. Disponível em: < https://www.weg.net/catalog/weg/BR-/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o_e_Controlo_Industrial/Controls/Partida_e_Prote%C3%A7%C3%A3o_de_Motores/Contatores/Pot%C3%Aancia/Contatores-CWB/CONTATORCWB50-11-30D23/p/13539285 > Acesso em: 08 out, 2018.

DINSLAKEN, DANIEL. Recirculação do mosto: fundo falso, bazooka ou bag?. Disponível em: < <https://concerveja.com.br/recirculacao/> > Acesso em: 10 out, 2018.

IBELLI, RENATO. Quer viver de erva? Então tome decisões sóbrias. Disponível em: < <https://dcomercio.com.br/categoria/negocios/quer-viver-de-erva-entao-tome-decisoes-sobrias> > Acesso em: 01 out, 2018.

MAXIM INSTRUMENTS. MAX 31865. Disponível em: < <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31865.pdf> > Acesso em: 15 out, 2018.

EBAH. Bombas centrífugas. Disponível em: < <https://www.ebah.com.br/content/ABAAABJ6EAG/bombas-centrifugas> > Acesso em: 19 out, 2018.

PALMER, JOHN J., Water: A Comprehensive Guide for Brewers. 1 ed. Boulder, CO: Brewers Publications, 2013.

MAXIM INSTRUMENTS. MAX 6675 Thermocouple to Digital Converter. Disponível em: < <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf> > Acesso em: 28 mar, 2019.

1	2	3	4
---	---	---	---

