



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE DO CAMPUS ARARANGUÁ  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Guilherme Ramos Trigueiro do Nascimento

**Automatização na Produção de Cerveja Artesanal Com Interface Web**

Araranguá  
2023

Guilherme Ramos Trigueiro do Nascimento

**Automatização na Produção de Cerveja Artesanal Com Interface Web**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Computação submetido ao Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde do Campus Araranguá da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Roderval Marcelino, Dr.

Araranguá

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Nascimento, Guilherme Ramos Trigueiro  
Automatização na Produção de Cerveja Artesanal Com  
Interface Web / Guilherme Ramos Trigueiro Nascimento ;  
orientador, Roderval Marcelino, 2023.  
26 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,  
Graduação em Engenharia de Computação, Araranguá, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Computação. 2. Engenharia de Computação.  
3. Automação com sistema embarcado. 4. Cerveja Artesanal.  
5. Interface Web. I. Marcelino, Roderval. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de  
Computação. III. Título.

Guilherme Ramos Trigueiro do Nascimento

**Automatização na Produção de Cerveja Artesanal Com Interface Web**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Computação e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Computação.

Araranguá, 24 de Novembro de 2023.

---

Prof. Jim Lau, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Roderval Marcelino, Dr.  
Orientador

---

Prof. Lenon Schmitz, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Armando Mendes Neto, Me.  
Avaliador  
Instituto Federal Catarinense

---

Prof. Martin Augusto Gagliotti Vigil, Dr.  
Avaliador Suplente  
Universidade Federal de Santa Catarina

# Automatização na Produção de Cerveja Artesanal Com Interface Web

Guilherme Ramos Trigueiro do Nascimento\*

Roderval Marcelino †

2023, Novembro

## Resumo

A demanda por cerveja artesanal vem crescendo consideravelmente na última década, fazendo com que muitas *startups* fossem desenvolvidas com o foco no processo artesanal, abandonando práticas industrializadas. Porém, isso faz com que a produção seja mais demorada e dispendiosa, com isso o objetivo deste projeto é utilizar um sistema computacional embarcado para automatizar etapas e controle da concepção da cerveja artesanal, mas sem que perca a essência da cerveja artesanal, mantendo processos em que de fato o mestre cervejeiro precisa estar presente colocando “a mão na massa”. Dessa forma, o projeto consiste na utilização de sensores e atuadores para a montagem de um protótipo, sendo controlados via códigos. Sendo desenvolvido o *Back-end*, para ser o lado do servidor do sistema que monitora e controla os componentes. Já para o lado do cliente, foi implementada uma interface *Web*, para que seja possível acompanhar as etapas e sejam feitas as devidas operações manuais nos tempos determinados. Como resultados, pode-se ver que a inserção destas tecnologias trouxe melhorias a eficiência e a usabilidade, possibilitando que uma pessoa sem conhecimentos de cerveja seja capaz de operar, mantendo o nível de qualidade da bebida artesanal.

**Palavras-chaves:** Cerveja Artesanal, Processo de produção, Sistema embarcado, Raspberry Pi.

---

\*guilhermertn@hotmail.com

†roderval.marcelino@ufsc.br

# Automation in Craft Beer Production With Web Interface

Guilherme Ramos Trigueiro do Nascimento\*

Roderval Marcelino †

2023, November

## Abstract

The demand for craft beer has grown considerably in the last decade, causing many startups to be developed with a focus on the artisanal process, abandoning industrialized practices. However, this makes production more time-consuming and expensive, so the objective of this project is to use an embedded computer system to automate steps and control the conception of craft beer, but without losing the essence of craft beer, keeping in line processes that the brewmaster needs to be present, putting his “hands on work”. Thus, the project consists of using sensors and actuators to assemble a prototype, controlled via codes. The Back-end is being developed to be the server side of the system that monitors and controls the components. On the client side, a Web interface was implemented, so that it is possible to follow the steps and carry out the necessary manual operations at the determined times. As a result, it can be seen that the insertion of these technologies brought improvements to efficiency and usability, enabling a person without knowledge of beer to be able to operate, maintaining the quality level of the craft drink.

**Key-words:** Craft beer, Production process, Embedded system, Raspberry Pi.

---

\*guilhermertn@hotmail.com

†roderval.marcelino@ufsc.br

# 1 Introdução

A produção de cerveja está presente na história da humanidade há milênios, possuindo sua origem em civilizações antigas, com suas primeiras aparições registradas na Palestina (REBELLO, 2009). Na época foi observado que a massa de pão sofria o fenômeno da fermentação ao ser molhada, se tornando então um pão líquido que foi uma versão primitiva de cerveja. Sendo utilizado para diversão e para oferendas aos deuses (ABRABE, 2014).

Com o passar dos anos, a produção de cerveja foi ampliada e aprimorada, desenvolvendo o consumo mundialmente ao ponto que tornou ela a bebida alcoólica mais consumida no mundo (AL, 2021). Mesmo detendo um mercado consolidado em muitos países, a demanda continua crescendo (LAVINSCKY, 2017). Neste contexto, se encaixa a produção de cerveja artesanal, que vem atraindo a atenção de consumidores que possuem o interesse em experimentar produtos diferenciados (MELLO; SILVA, 2020).

O mercado mundial de cerveja sofreu diminuições nas vendas de cerveja de 2019 para 2020, por conta da pandemia do coronavírus, em que segundo o grupo BarthHaas, houve uma retração de 94 milhões de hectolitros nas vendas de 2020 em relação a 2019 (BARTHHAAS, 2022). Entretanto, já está sendo recuperada, visto que em 2021 se teve o aumento de 80 milhões de hectolitros se comparado a 2020. Dessa forma, é esperado que estes valores sejam restabelecidos e até ultrapassados, gerando novas oportunidades para micro cervejarias que são as mais trabalham com cerveja artesanal (ABRABE, 2022).

No Brasil, segundo o “Anuário de Cerveja 2021”, existem 1549 cervejarias funcionando, constatando um crescimento de 12% em relação ao presente no anuário de 2020, com grande parte sendo de produção artesanal (BRASIL, 2020). Além disso, também foi mostrado que a maior concentração de cervejarias está em estados em que o público consumidor é predisposto a experimentar produtos alternativos. Conforme Luiz Nicolaewsky, CEO do Sindicerv, em 2021 35 mil novos produtos foram registrados, sendo, nas palavras dele, “uma avenida para a criatividade e uma nova geração que vem demandando variações da bebida” (MAFRA, 2022).

As micro cervejarias brasileiras, que trabalham com cervejas especiais, possuem em geral uma carência de instrumentos mais eficientes para produção em pequena escala. Assim, elas enfrentam dificuldades como por exemplo a complexidade no controle dos processos de concepção da bebida, em que o cervejeiro precisa lidar com muitas variáveis e etapas manuais, despendendo de mais tempo e qualidade do que poderia alcançar caso implementasse ferramentas tecnológicas (OLIVEIRA; BARCELLOS, 2017).

As técnicas computacionais seriam capazes de auxiliar os mestres cervejeiros, de forma que permita a automação de etapas sem comprometer a essência da bebida. Além disso, propiciaria uma interface para monitoramento das condições e elementos que envolvem a produção da cerveja artesanal, como a quantidade de água, temperatura e os tempos em cada etapa. Com isso, a ideia é aprimorar a eficiência do trabalho, diminuindo os gastos de tempo, economizando recursos e mantendo a qualidade do produto, conservando as características essenciais da cerveja especial.

Com o intuito de melhorar a produção, estas ferramentas computacionais foram empregadas a partir de um sistema embarcado, que portaria um conjunto de sensores e atuadores para o controle das variáveis. Dessa forma, realizando medições dos níveis de líquido presentes nas panelas, as temperaturas e acionamentos de gás e chama para aquecimento. Mostrando tudo isso, por meio de uma interface *Web*, para que o funcionário

possa acompanhar o desenvolvimento de maneira mais inteligente e saber mais facilmente onde atuar para prezar pela qualidade.

Nesta situação, o desenvolvimento do sistema de automação foi focado em possibilitar que a receita da cerveja fosse inserida no algoritmo, para que os valores dos parâmetros e quantidades dos ingredientes sejam controlada e gerenciadas pela aplicação, separando por etapas, para comunicar ao mestre cervejeiro os passos de atuação a serem seguidos. Mantendo dessa forma o padrão de qualidade e proporcionar um produto final de melhor.

## 2 Fundamentação Teórica

### 2.1 Computação Ubíqua

A computação ubíqua teve a origem do conceito por meio do artigo "O computador do século XXI", feito pelo cientista Mark Weiser, publicado em 1991. Na época, ele buscava desvincular a prática da computação dando tanta atenção as operações do computador, de maneira que as ferramentas se tornassem mais invisíveis, possibilitando que o foco dos usuários de computação estivesse direcionado a tarefa em si. A ideia de Weiser era de que os componentes se integrassem, formando um sistema inteligente, caminhando no rumo da automatização, resultando em uma comunicação mais fácil (MONQUEIRO, 2008).

A computação ubíqua abrange todos os dispositivos eletrônicos que são capazes de se conectar a uma rede e conversa com o usuário. Sendo esta, uma tecnologia que está relacionada a conexão entre objetos computacionais de forma que estes fiquem transparentes ao ser humano, para que simplifique a interação entre o sistema e usuário (CHARLEAUX, 2022).

Desde sua definição até hoje, a computação ubíqua ganhou muita relevância no mercado, fazendo com que dispositivos com esta tecnologia se façam significativamente presentes no dia a dia das pessoas. Um exemplo de artefato que possui esta característica são os *smartphones*, que possibilita o acesso a rede e realizam diversas tarefas de forma inteligente, sempre interagindo com o usuário de uma maneira simples.

Com isso, este conceito é aplicado neste projeto por meio do uso de um sistema embarcado para controlar e armazenar as variáveis do sistema, a partir da comunicação com os sensores e atuadores. Tudo isso, sendo então disponibilizado em uma interface *Web* para integração com o usuário. Desta maneira, a conexão humano e tecnologia ocorre mantendo a atenção apenas aos processos de produção em si, evitando esforços para lidar com os componentes de *Hardware*.

### 2.2 WebSocket

Para implementar uma interface que mostre as informações dos sensores e atuadores do sistema em uma tela no navegador, é necessária alguma tecnologia que permita a troca de dados entre os mesmos (TAYLOR, 2022). Neste contexto, uma alternativa interessante é a tecnologia *WebSocket*, que mantém uma comunicação bidirecional, entre cliente e servidor, em tempo real. Em que, esta conexão se mantém aberta em um canal até que um dos lados finalize (GUAN; HU; ZHOU, 2019).

O *WebSocket* se diferencia de outros protocolos por possibilitar que dados sejam recebidos sem precisar que um pedido seja despachado. Dessa forma, as informações dos sensores e atuadores podem ser atualizados constantemente em tempo real (GUAN; HU;

ZHOU, 2019). Além disso, ele proporciona a função de envios de mensagens que pode ser utilizado para mostrar lembretes e orientações, que auxiliem o usuário durante o processo de produção.

O uso de WebSocket se mostrou interessante, pois ele garante que ambos os lados, cliente e servidor, estejam conectados para iniciar o funcionamento do sistema. Como também, permite que as informações na tela da interface estejam sempre atualizadas em tempo real. Por ser suportado por todos os navegadores modernos e compatível com múltiplas plataformas, este se encaixa muito bem para a implementação em um sistema embarcado.

### 2.3 Cerveja Artesanal

A história da fabricação de cerveja artesanal é extensa e rica, remontando a milhares de anos. A produção de cerveja artesanal se distingue por sua abordagem artesanal e grande atenção aos detalhes, em contraste com as cervejarias industriais, que dependem de extensos procedimentos automatizados. Os cervejeiros artesanais usam ingredientes de alta qualidade e métodos tradicionais para produzir cervejas distintas e únicas (BAIANO, 2021).

A arte da cervejaria artesanal envolve uma série de etapas intrincadas e críticas, cada uma contribuindo de maneira única para as características finais da bebida. Mesmo que as cervejas de mesma classificação sigam, na sua maioria, um processo geral semelhante. Em que se resume em: maltagem, mosturação, filtração, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase, que podem ser vistos de forma mais intuitiva na Figura 1. Sendo importante notar que existem nuances e variações significativas que resultam em aromas e sabores originais, com diferentes tipos de cerveja (OLIVEIRA, 2011).

Figura 1 – Cadeia processos da produção de cerveja artesanal



Fonte: Micro Central <sup>1</sup>

<sup>1</sup><https://microambiental.com.br/analises-de-agua/por-que-monitorar-a-qualidade-da-agua-na-industria-de-cerveja/> Acesso em: 05 de Dezembro de 2023.

Na fase inicial do processo, é realizada a maltagem, que envolve o cuidadoso controle da umidificação, seguido pela germinação e finalizado com a secagem do grão de cevada sob estritas condições de temperatura, que transforma o amido em açúcares fermentáveis (PALMER, 2006). Ela desempenha um papel crucial na fabricação de cerveja, pois tem um impacto significativo no perfil de sabor, aroma e coloração da bebida. Entre os tipos de malte mais frequentemente utilizados, destacam-se o malte Pilsen, o malte Munich e o malte Carafa (SOUZA, 2022).

A etapa subsequente do processo cervejeiro é a mosturação, que também é conhecida como brassagem. Nesse estágio, os grãos de malte moídos são banhados com água em aquecimento, por determinado período e temperatura. Dessa forma, realizando o objetivo principal de permitir a hidratação do endosperma e a ativação das enzimas, para realizar a hidrólise catalítica do amido (OLIVEIRA, 2011). Transformando este em açúcares menores fermentescíveis, que forma a mistura chamada de mostura (SIQUEIRA; MACEDO, 2008).

A filtração da mostura é conduzida em um recipiente designado como tina de filtragem, que possui um fundo falso para separar o mosto líquido do bagaço de malte. Neste processo o líquido escoar através das cascas do malte que fica retido no fundo falso, funcionando como uma camada de filtragem, reservando o mosto no fundo da tina. Durante esta etapa ocorre a recirculação, no qual o mosto é bombeado para a cima da panela e seja filtrado repetidas vezes, com o objetivo de extrair elementos sólidos, tornando o mosto menos turbido e mais puro. Posteriormente, é realizada uma lavagem do bagaço resultante com água preaquecida, por volta de 78°C, com a finalidade de recuperar o máximo possível dos açúcares restantes no bagaço de malte, formando o segundo mosto (BREANCINI, 2018).

Em seguida, é adicionado o lúpulo ao líquido resultante da filtração, este que é novamente aquecido, iniciando então o processo de fervura a uma temperatura de cerca de 100°C. Esta etapa é fundamental para a inativação das enzimas presentes no mosto, esterilização do líquido e a subsequente evaporação da água. Contribuindo para a concentração dos componentes desejados e obtenção da cor, aroma e sabor da cerveja (SIQUEIRA; MACEDO, 2008). Após a fervura, o mosto passa por uma centrifugação e pelo resfriamento, processo no qual são utilizados trocadores de calor para reduzir a temperatura do líquido, preparando-se para receber a levedura, que desempenhará o papel central na fermentação (OLIVEIRA, 2011).

A fermentação gira em torno da atuação das leveduras presentes no mosto, as quais se reproduzem de forma veloz por causa da presença abundante de oxigênio no meio. Após esta parte, as leveduras consomem os açúcares fermentescíveis de maneira anaeróbica, para a formação de etanol e dióxido de carbono (ASSIS MÔNICA TEJO CAVALCANTI, 2021). Além disso, também são resultantes da fermentação alguns ésteres, ácidos e alcoóis superiores que fornecem propriedades sensoriais da cerveja, e também é nesta etapa que o teor alcoólico é proporcionado (REBELLO, 2009). A temperatura de operação deste processo é dependente do tipo de fermentação que é utilizado na receita da bebida, podendo variar, em média, entre 10°C e 25°C (ASSIS MÔNICA TEJO CAVALCANTI, 2021).

Posteriormente da realização desta primeira fermentação, que produz a cerveja "verde", é então feita uma fermentação secundária chamada de maturação. Nesta etapa, a bebida fica reservada em tanques sob temperatura mais baixas, entre 0°C e 3°C por dias, com os objetivos de clarificação da cerveja, aperfeiçoamento do sabor e aroma e amadurecimento (SIQUEIRA; MACEDO, 2008). Após isso, a cerveja está bem próxima do ponto para consumo, com seu paladar, essência e turbidez definidos, sendo necessário

apenas realizar acabamentos e o envase para comercialização.

Por fim, a bebida alcoólica passa por uma última filtração, para remoção de partículas e substâncias consideradas indesejadas. Com ela purificada, será introduzido dióxido de carbono, estabilizantes e antioxidantes, com a finalidade de aprimorar a qualidade e conservação da cerveja. A partir disso, a produção cervejeira está concluída e deve ser feito o envase em garrafas ou barris, mantendo rigores de higiene para manter a integridade do produto finalizado (OLIVEIRA, 2011).

A produção de cerveja artesanal, no entanto, também apresenta desafios de consistência e eficiência. A qualidade do produto pode sofrer com alterações devido a produção manual demorada de trabalho, que fica propenso a erros humanos. Além disso, muitos cervejeiros também estão procurando maneiras de aumentar sua capacidade de produção sem sacrificar a qualidade como resultado da crescente demanda por cervejas artesanais (SALANÇA et al., 2020).

A automação da produção de cerveja artesanal se destaca como uma possível resposta nessa situação. Em várias fases do processo de produção, incluindo fermentação e controle de temperatura, tecnologias modernas podem ser usadas. A padronização e simplificação do processo por meio da automação podem levar a uma maior precisão e consistência da produção. Além disso, a automação pode aumentar a eficiência geral da produção, permitindo que os cervejeiros se concentrem no desenvolvimento de novas receitas e inovações (RODRIGUEZ LEONARDO VINCES; CARPIO, 2019). Para garantir que os produtos finais mantenham o nível de qualidade e autenticidade que os consumidores de cerveja artesanal desejam, é crucial encontrar um equilíbrio entre a automação e a preservação das partes artesanais e criativas da fabricação de cerveja.

### 3 Estado da Arte

A fim de reunir os estudos mais recentes, foi feita uma revisão sistemática da literatura do tema abordado, para que sejam vistas as tecnologias e métodos empregados na atualidade. Dessa forma, buscando investigar pesquisas semelhantes, para nortear a situação da área selecionada, visto por trabalhos científicos.

As bases de dados utilizadas foram IEEE Xplore e Scopus, para pesquisa de trabalhos existentes. Tendo o acesso a partir do Portal Capes em <http://www.periodicos.capes.gov.br>, junto do uso da VPN disponibilizada pela Universidade Federal de Santa Catarina. Com a finalidade de filtrar as pesquisas, foram utilizadas diferentes strings para dividir partes do tema. As palavras chaves utilizadas foram: *craft beer, automation, control e technology*.

Na primeira busca, sendo usado apenas o termo “*Craft Beer*”, foram obtidos 543 trabalhos científicos que são associados ao tema. Após isso, foram adicionados os termos junto da palavra chave inicial, ficando “*Craft Beer AND Palavra*”, onde “*Palavra*” faz referência ao novo termo. Na segunda pesquisa, em que foi adicionada a palavra “*automation*”, que já especifica mais o assunto do uso de tecnologias para a automação, adquirindo um total de 7 publicações. Em seguida, foi feita a pesquisa aplicando o termo “*control*”, em que resultou num total de 48 produções encontradas. Por fim, foi inserido o último termo, “*technology*”, para se ter informação das tecnologias empregadas em projetos semelhantes, obtendo um total de 28 publicações.

A primeira publicação escolhida foi a da UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRU-

JILLO. VÁSQUEZ VILLALOBOS (2020), em que se trata do uso de lógica *fuzzy* para o controle automatizado da produção de cerveja artesanal, tratando mais especificamente das etapas de maceração e cozimento do malte. O autor implementou um sistema que consiste de 3 painéis de 20 l, um recipiente extra para armazenar o lúpulo, sensores, atuadores, armazenamento das informações obtidas e 47 regras difusas para a inteligência artificial (IA). Com isso, são feitas medições e manipulações das informações para que estejam próximas de parâmetros de base, para garantir uma melhor qualidade da bebida (VILLALOBOS, 2020).

O trabalho de Rodriguez et al. (2019), trata do desenvolvimento de um equipamento automatizado para o processo de maceração da cerveja especial, pois o autor constata que os micro cervejeiros carecem de instrumentos suficientes para o controle de etapas da produção, como por exemplo a maceração do malte. Esta parte, exige um cuidado grande em relação às temperaturas que são aplicadas, uma vez que o processo degrada o amido do malte em açúcares, e possuindo a marca de fase crítica. Para isso, o autor propõe o monitoramento automatizado da temperatura nas painéis, que resultou em uma eficiência de 69,44%, o que aponta um açúcar ideal para a separação do malte (RODRIGUEZ LEONARDO VINCES; CARPIO, 2019).

A pesquisa de Pasic et al. (2019), se aprofunda sobre o monitoramento de condições baseado em indicadores-chave de performance (*KPI*), discutindo sobre a complexidade na concepção de cerveja alternativa, e sobre quais os requisitos para garantia de qualidade do produto precisam ser atendidas para obter sucesso na produção. Possuindo gerentes de produção, que são responsáveis por partes das etapas de produção, garantindo que a bebida final esteja ótima. Para satisfazer as exigências, o trabalho tem o objetivo de monitorar as condições dos processos, de forma que esteja baseado no KPI, que ajudam na análise, dos gerentes de produção, do estado real do processo, através de painéis específicos para cervejarias. O autor utilizou no projeto, controle de supervisão e obtenção de informações, por meio de sensores de temperatura e vibração, que proporcionam a possibilidade de correções importantes durante o processo inteiro (AL., 2019).

O trabalho de Hugo et al (2018) também aborda a ideia de automação do processo de maceração do malte na produção de cerveja artesanal, em que ele mostra um projeto de protótipo que atua de forma automatizada na etapa de maceração do malte. Dessa forma, ele propõe o alvo de implementar um sistema que controle variáveis selecionadas, como o pH, nível e temperatura. Assim, organizando cada elemento presente no sistema, além de determinar quais componentes serão providos para atingir o objetivo. O projeto também agrega códigos de programação para desenvolvimento de controladores e confecção do protótipo físico do sistema (AL., 2018).

Na pesquisa de Flores et al. (2018), é analisada a aplicação de um simulador do controle do processo de maceração, que possui o objetivo de auxiliar na validação dos algoritmos que são utilizados para controlar as variáveis do sistema. Em que, com equações de balanço de massa e energia do processo, o simulador concede a um controlador lógico os valores interessados, como temperatura, vazão e nível. Com isso, são implementados métodos de controle com proporcional integral derivativo (PID), que gera sinais para as válvulas virtuais do simulador, possibilitando regular os valores a serem operados no sistema real (FLORES MIGUEL MAGOS RIVERA; VIVEROS, 2018).

O estudo de Tamo e Hilário (2020) fala sobre a implementação de uma rede *IoT* para o controle do sistema de fermentação a partir do uso de Raspberry PI, no qual é discutido sobre a busca por uma garantia de padrão no produto final e sobre o desenvolvimento mais

ágil de receitas. Para isso, é testado o sistema na etapa de fermentação, com um controlador diferencial chamado “*BrewPi*” para o controle de temperatura, sensores, supervisão *WLAN* e produtos *IoT* que fazem uso de *Wi-fi* (TAMO, 2020).

No trabalho de Violino et al. (2020) é trazido o tema sobre o uso de *IoT* como tecnologia para facilitar processos importantes da produção da cerveja. Com o objetivo de analisar técnicas de *IoT* de baixo custo, mas que cumpram o desejado em qualquer parte do processo de produção. Por meio dos resultados pode-se constatar que o mercado possui a propensão de crescer o uso de produtos *IoT*, como também de código aberto, sempre buscando a eficiência e qualidade no produto final, com o monitoramento em tempo real e a tomada de decisão (VIOLINO et al., 2020).

Com isso, fica claro que o assunto de automação da produção de cerveja artesanal está em alta no momento atual, devido ao aumento considerável no interesse por este tipo de bebida. Em que, muitos autores buscam tecnologias para cuidar principalmente do processo de maceração do malte, que é apenas uma etapa dentro da cadeia de produção. Dessa forma, faltam modelos que tratem de mais partes da confecção, unindo uma interação maior com o mestre cervejeiro, para que assim mantenha mais o conceito de artesanal e seja mais aceito em cervejarias.

Este trabalho busca desenvolver um sistema que controle e monitore as etapas e variáveis da produção, a partir de um código eficiente em Python, utilizando componentes de custo inferior aos vistos nos textos. Além disso, ele foi conduzido por uma interface Web intuitiva, feita com as linguagens de programação javascript, HTML e CSS, que facilite a confecção da cerveja de forma que uma pessoa leiga possa operar sem dificuldades, visto que as outras soluções comentadas focavam apenas na automação sem assistividade.

## 4 Desenvolvimento

No desenvolvimento foi crucial compreender os pré-requisitos e as etapas envolvidas na produção de cerveja artesanal, antes de entrar nas especificidades da automatização dos processos de confecção de bebida com um sistema embarcado baseado no Raspberry Pi. A fabricação de cerveja tornou-se uma arte e uma ciência ao longo dos anos, combinando ingredientes cuidadosamente escolhidos com uma série de procedimentos complexos para produzir um produto final de alta qualidade.

As etapas fundamentais que este projeto buscou automatizar foram: a escolha dos ingredientes que será mostrado na interface, mosturação e fervura. Além destas, também foram implementadas subetapas que não foram mencionadas ainda até esta seção, em que são elas: *mashout* que é uma extensão da mosturação, onde a temperatura é aumentada para interromper a ação das enzimas, a *trasfega* que é a transferência de líquido entre panelas, *Flysparge* que é a lavagem do bagaço restante da *trasfega* que retira o líquido após o *mashout* e por última o *Whirpool* feito depois da fervura, em que se mistura o mosto quente de forma manual, porém indicada pela interface para ser realizada. Cada etapa requer uma atenção cuidadosa aos detalhes e monitoramento rigoroso de variáveis como temperatura, volume e tempo. A automação, conforme examinada neste trabalho, é fundamental para agilizar e otimizar esses processos, aumentando sua precisão e repetibilidade, ao mesmo tempo que permite o desenvolvimento de novos sabores e tipos de cerveja com base em configurações customizadas.

## 4.1 Requisitos

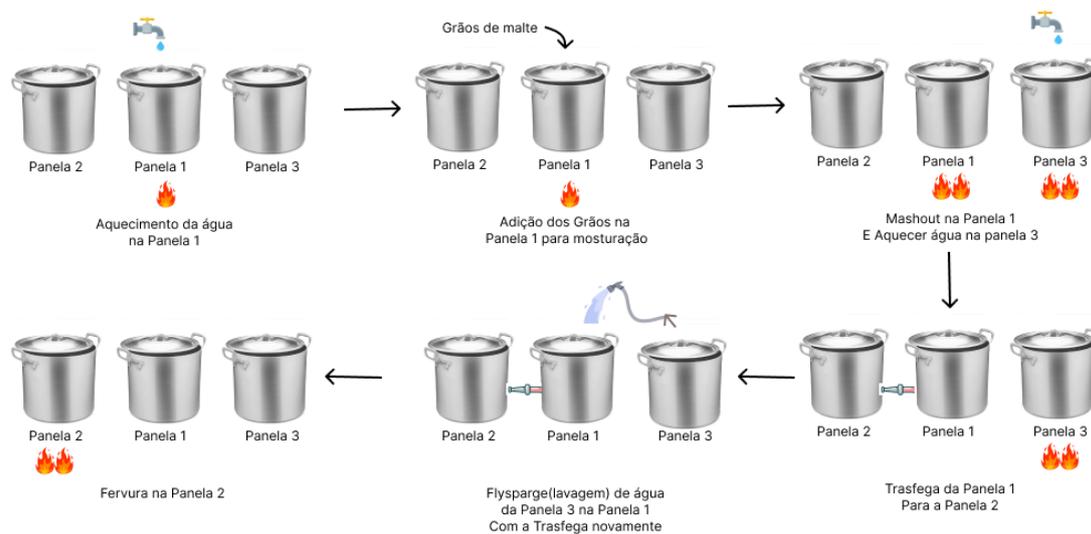
O sistema necessita cumprir um conjunto de requisitos para alcançar o objetivo de realizar a produção da cerveja artesanal que são eles: três panelas, com um fogareiro para cada uma, um botijão de gás para aquecimento e uma fonte de água. Com isso, o processo inicia abastecendo a panela 1 no volume desejado, em seguida é feita a mosturação, em que a panela 1 deve chegar a temperatura alvo da receita.

Nesse momento o operador precisa ser avisado para arriar o malte, iniciando então a recirculação do líquido, com uma bomba de recirculação, e mantendo a temperatura alvo por um período de 60 minutos. Quando finalizar este tempo de brassagem, a temperatura deve ser aumentada para realização do *Mashout*, que interrompe a ação das leveduras. Além disso, a interface alerta para realizar a medição da densidade original (*OG*) da cerveja. Enquanto isso, a panela 3 terá que ser abastecida na metade do volume da receita e aquecida na temperatura de *Mashout* que é mais elevada que a de mosturação.

Após estas etapas, é feita a primeira trasfega, que consiste no transporte do líquido presente na panela 1 para a panela 2. Posteriormente é feito o *flysparge*, que significa realizar a lavagem do bagaço restante na panela 1 com água da panela 3, em forma de chuveiro, para que então seja realizada a segunda trasfega. Com o líquido todo na panela 2, é feita a fervura, que como os outros processos de aquecimento, possui temperatura e período meta.

Posteriormente, é feito o *whirpool*, que é a mistura manual do operador devidamente notificado. Então, o produto é transmitido para o resfriamento e assim passará por processos finais, que não entraram no sistema estudado, antes da conclusão da cerveja. As etapas podem ser vistas de forma mais resumida na Figura 2, que mostra o fluxograma das mesmas.

Figura 2 – Fluxograma das etapas de produção da cerveja artesanal

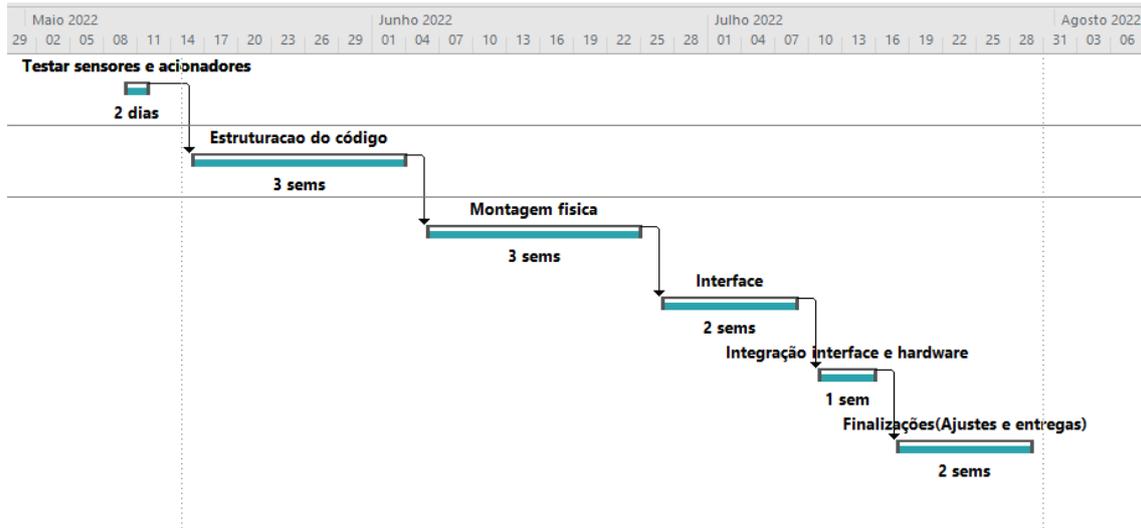


Fonte: Próprio autor

O desenvolvimento se dividiu em etapas essenciais da implementação de um protótipo para automação da produção de cerveja artesanal, como é possível ver na

Figura 3. Antes de desenvolver o código para permitir o controle eficaz do sistema, foram realizados testes e seleção de sensores e atuadores apropriados. O sistema foi então montado fisicamente e uma interface de controle amigável foi construída. Para garantir uma comunicação exata, a interface e o *Hardware* foram integrados. Em seguida, as finalizações, incluindo revisões, testes e pequenos ajustes, foram feitas para garantir a eficiência e o calibre do sistema automatizado. Cada passo será devidamente descrito a seguir.

Figura 3 – Gráfico Gantt das etapas de desenvolvimento



Fonte: Próprio autor

## 4.2 Sensores e Atuadores

A primeira etapa de desenvolvimento envolveu a escolha dos sensores e atuadores que atendam os requisitos do sistema. Para isso, seriam necessários componentes para as seguintes tarefas: leitura de temperatura, medição de nível do volume, detecção de presença de gás, bombear água, liberar e cessar gás do botijão e gerar fogo a partir do gás. A partir destes objetivos, foram feitos testes com sensores e atuadores para a seleção, com o código simples, apenas para leitura dos dados e acionamento dos reles, escrito em Python.

O objetivo era verificar a performance dos equipamentos de *Hardware*, a partir de comandos apenas de ligar e desligar os atuadores e analisar os dados que eram enviados pelos sensores. Dessa forma, os componentes foram selecionados e adquiridos para serem integrados posteriormente ao protótipo do sistema.

Os sensores utilizados podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Listagem dos Sensores do sistema

Quantidade	Nome	Modelo	Funcionalidade
3	Sensor de Gás	MQ-4	Detectar presença de níveis de gás natural
2	Sensor de Temperatura	NTC 3950	Medir a variação térmica
2	Sensor Ultrassônico	JSN -SR04T	Medir o volume nas painelas

Fonte: Próprio autor

Os atuadores utilizados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Listagem dos Atuadores do sistema

Quantidade	Nome	Modelo	Funcionalidade
1	Válvula solenoide de água	(1/2 X 1/2) VA03	Bombear água de fora do sistema para dentro
3	Válvula de gás	504-1	Acionar e cessar o gás para aquecimento
2	Bomba de água	220 v	Bombear água entre painelas do sistema
1	Usina de ignição	7 Saídas	Acionamento da faísca geradora do fogo

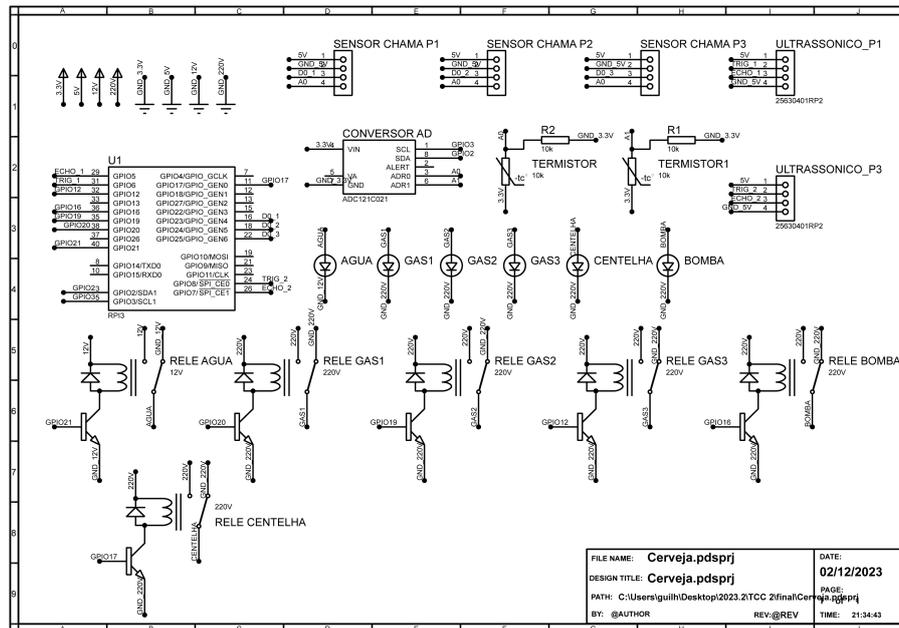
Fonte: Próprio autor

A verificação ocorreu utilizando um código para cada sensor e um para todos os atuadores. Para os sensores foi lido os respectivos *datasheets* para ter o entendimento do funcionamento deles, e conectados devidamente em portas *General Purpose Input/Output (GPIO)*, de início sem documentar quais, VCC e GND do Raspberry PI para realizar as leituras de cada um. Dessa forma, eles foram testados a partir de *prints* no terminal dos dados que são recebidos dos mesmos.

Os atuadores necessitaram de uma fonte, de corrente contínua, de 12 Volts e um conector de cabos de fio de 8 saídas para realizar os experimentos, que possui alimentação na tomada, de corrente alternada, de 220 Volts. Com isso, foi feito um código que realizava apenas a troca de nível alto para nível baixo, e vice versa, das portas *GPIO* escolhidas, por meio de comandos numéricos de entrada. Assim, foi possível ver o funcionamento de todos os atuadores acionados por relés.

Com os teste realizados, foi permitido efetuar as desejadas regulagens e posicionamento, para planejar posteriormente a montagem do sistema. Na Figura 4 está presente o circuito eletrônico proposto para o sistema, que mostra as conexões e equipamento elaborados.

Figura 4 – Esquemático do *Hardware* proposto



Fonte: Próprio autor

### 4.3 Desenvolvimento do código backend

O código para a automação do projeto foi desenvolvido para garantir o monitoramento e controle dos dados de entrada dos sensores e de saída dos atuadores. Realizando em forma de funções, todas as etapas da produção de cerveja artesanal citadas nos requisitos, respeitando os tempos, intervalos de temperaturas e volume desejado para a receita. O sistema foi preparado para uma posterior comunicação com uma interface, em que teria que enviar mensagens de notificação e receber as informações para iniciar e operar na confecção da bebida de maneira eficiente. Sendo implementado para funcionar no sistema operacional Raspberry Pi OS, uma variante do Debian, que é otimizado para o *Hardware* do Raspberry Pi.

A linguagem de programação utilizada para o *backend* do sistema desenvolvimento foi Python, devido à sua acessibilidade e à vasta disponibilidade de bibliotecas, que algumas delas foram essenciais para implementar as funções. O código foi dividido em um conjunto de arquivos, como forma de organizar os contextos do sistema, facilitando o desenvolvimento, visualização e a depuração. Sendo então separado em: um arquivo para o sensor de temperatura, um para o sensor ultrassônico, um para todos os atuadores acoplados aos relés, um para agrupar todas as funções que monitoram e controlam as etapas da produção e por fim, um para ser o servidor que faz a chamada na ordem correta e se comunica com o lado do cliente na interface.

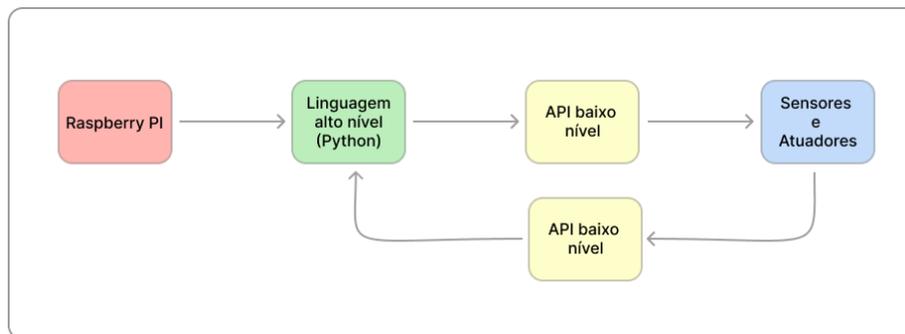
Os códigos escritos para os sensores, foram baseados na leitura dos *Datasheets* de cada um, com a finalidade de implementar conversões e configurações específicas de cada sensor. Para o sensor de temperatura, a principal biblioteca utilizada foi a *adafruit\_ads1x15* que permite realizar a leitura dos dados para uma posterior conversão, mostrando o valor

em graus Celsius no fim. Com o sensor ultrassônico, foi utilizada a biblioteca *RPi* que possibilita o controle das portas do Raspberry Pi, para que seja possível obter a distância do sensor da superfície na direção apontada, e posteriormente calcular o volume com os valores das dimensões das panelas, em que foi feita uma média dos valores de vinte e cinco leituras, para minimizar as possíveis variações inconsistentes.

Os atuadores, que são ativados por meio de relés, puderam ser operados por funções simples, utilizando apenas o número da porta *GPIO* conectado na placa Raspberry Pi e o comando 0 para desligar e 1 para ligar, que ficou da forma *GPIO.output(NÚMERO\_DA\_PORTA, COMANDO)*. Com isso, foi necessário armazenar os números das portas em uso e seus respectivas componentes, além de precisar definir como saída todas estas portas previamente.

Todas as etapas da produção de cerveja artesanal a serem automatizadas, tiveram suas funções, que descrevem o funcionamento e controle delas, reunidas em um código que aplica as informações dos sensores como entrada para as funções poderem ser realizadas. A biblioteca *datetime* foi utilizada para obter o horário atual da placa, para que seja possível administrar os períodos definidos de cada processo, fazendo com que sejam finalizados apenas após a confirmação de conclusão do intervalo corretamente, comparando o horário atual com o de início da função. Nessa parte, o sensor de gás é verificado para caso a válvula de gás esteja ativada e o sensor capte a substância gasosa, a centelha seja ativada para que ocorra a ignição, repetindo o processo até que não seja mais detectado gás.

Figura 5 – Fluxograma do *Back-end*



Fonte: Próprio autor

Na Figura 5, é possível visualizar a cadeia de controle feita a partir do Raspberry PI, que se comunica com os sensores e atuadores por meio de Interface de Programação de Aplicação (*API*), sendo aplicadas pela linguagem de alto nível, para realizar as funções mencionadas. Estas funções definidas são chamadas no código do servidor na ordem correta, para a confecção da bebida alcoólica. Neste arquivo, as bibliotecas *WebSockets* e *asyncio* são cruciais para inicialização do servidor Apache 2, de forma assíncrona, utilizando apenas o endereço IP da Raspberry Pi e a porta, para manter o contato. Além disso, as mensagens de notificação são enviadas para a interface a partir de comandos *websocket.send(NOME\_MENSAGEM)* neste código.

O controle de temperatura foi bem similar para as três etapas quentes que o projeto engloba, em que ele realiza em laço a leitura da temperatura do líquido da panela até alcançar a temperatura alvo. Com isso, é feita a leitura do horário atual do sistema do

computador, para iniciar a contagem do tempo de cozimento, que varia com cada etapa e receita. Durante este período, é feito o monitoramento da temperatura, utilizando um intervalo de em média 2 graus Celcius para mais no limite máximo e para menos no limite mínimo, que ao descer a temperatura para baixo do limite mínimo é acionada chama, e ao passar do limite máximo ela é desligada. Conforme a Figura 6, que mostra a função da mosturação até chegar na temperatura alvo e a Figura 7 que mostra a continuação dela, dos 60 minutos de cozimento com a recirculação.

Figura 6 – Código da Função da primeira parte da Mosturação

```
def checkTemp():
    print("ENTROU na checkTEMP")
    tempi = temperatura.temp(1)
    gasOn = 0
    while tempi <= 68:
        tempi = temperatura.temp(1)
        print("TEMPERATURA: ", tempi)
        if tempi <= 68 and chama.chamaLigada() == 0 and gasOn == 0: #Recebe da receita em graus
            print("Ligando o Gás")
            rele.liga(Gas1)
            gasOn = 1
            time.sleep(1)
            #rele.liga(Centelhador1)
            time.sleep(2)
            #rele.desliga(Centelhador1)
        if chama.chamaLigada() == 1 and gasOn == 1: # Realiza a centelha para ligar o fogo
            while chama.chamaLigada() == 1:
                #rele.liga(Centelhador1)
                time.sleep(2)
                #rele.desliga(Centelhador1)
                time.sleep(2)
    print("Chegou na temp de 68")
```

Fonte: Próprio autor

Figura 7 – Código da Função da segunda parte da Mosturação

```
40 def mostPart2( a ):
41     minPast = 0
42     minSave = 0
43     gasOn = 0
44     dt_obj = datetime.now()
45     minInit = dt_obj.strftime("%M")
46     print("ENTROU na checkTEMP")
47     tempi = temperatura.temp(1)
48     while minPast < a:
49         dt_obj = datetime.now()
50         minNow = dt_obj.strftime("%M")
51         if int(minInit) <= int(minNow):
52             minPast = int(minNow) - int(minInit)
53             minSave = int(minNow)
54         elif minSave > int(minNow):
55             a = a - minPast
56             a = a - (60 - minSave)
57             minInit = 0
58             minPast = int(minNow) - int(minInit)
59         if (a - minPast) <= recircula:
60             rele.liga(BombaRT) #liga a recirculacao apos 45 min
```

```

61     tempi = temperatura.temp(1)
62     print("TEMPERATURA: ", tempi)
63     print("Tempo restante: ", a - minPast)
64     if tempi >= 68 and gasOn == 1: #Recebe da receita em graus
65         rele.desliga(Gas1)
66         gasOn = 0
67     if tempi <= 66 and chama.chamaLigada() == 0 and gasOn == 0: #Recebe da receita em graus
68         rele.liga(Gas1)
69         time.sleep(1)
70         rele.liga(Centelhador1)
71         time.sleep(2)
72         rele.desliga(Centelhador1)
73         gasOn = 1
74     if chama.chamaLigada() == 1 and gasOn == 1: # Realiza a centelha para ligar o fogo
75         while chama.chamaLigada() == 1:
76             rele.liga(Centelhador1)
77             time.sleep(2)
78             rele.desliga(Centelhador1)
79             time.sleep(2)

```

Fonte: Próprio autor

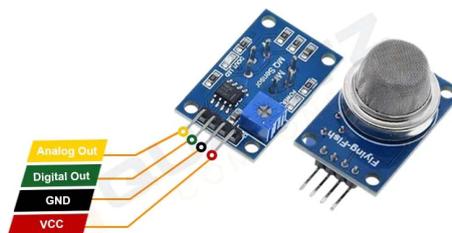
Desta forma, o desenvolvimento do *backend* realiza a coleta dos dados de entrada, controla os atuadores para realizar as etapas de forma automatizada e fica pronto para se comunicar com a interface do lado do cliente, recebendo as informações da receita e informar ações para o mestre cervejeiro operar manualmente.

#### 4.4 Montagem do protótipo

A montagem do protótipo foi o próximo passo para a confecção do projeto, que foi reunido todos os componentes físicos de forma que cada um exerça sua função no sistema. Sendo eles divididos em quatro conjuntos: equipamentos cervejeiros, sensores, atuadores e placa controladora. Iniciando esta parte posicionando os equipamentos cervejeiros, em uma mesa de tamanho adequado, que os fogareiros foram colocados a uma certa distância, e sobre eles, as panelas cervejeiras.

A seguir, os sensores são acoplados, sendo o sensor de gás instalado na base do fogareiro, para que esteja próximo da saída de gás e possa captar de forma correta o nível da substância presente, sem o risco de queimar o mesmo. Ele possui quatro pinos, em que apenas os de alimentação *VCC*, terra *GND* e dados *D0* serão utilizados. Com isso, quando a concentração de gases ultrapassa o valor estabelecido pelo potenciômetro do próprio sensor, a saída digital D0 assume um estado lógico alto, e para o caso contrário, a saída digital D0 assume um estado lógico baixo.

Figura 8 – Sensor de Gás MQ-4



Fonte: Quartz Components <sup>2</sup>

O sensor subsequente, foi o de temperatura, que foi inserido no furo para termômetro da panela, este fica a certa altura para medir com precisão a temperatura do mosto ou do líquido durante a fervura. Para o funcionamento deste, ele precisa de um conversor analógico digital, em que foi utilizada a placa ADS1115. Nesta, seria conectado a placa controladora os pinos 3,3 Volts VCC, o terra GND, o *SCL* e *SDA* para a comunicação serial I<sup>2</sup>C. Já o termistor, possui duas pontas, positiva e negativa, em que a positiva é ligada a alimentação 3,3 Volts, e a negativa é dividida em duas. Destas, uma é ligada a entrada de dados analógicos *A0* da placa conversora e a outra com um resistor de 10.000 ohms que deve estar conectado ao *GND*.

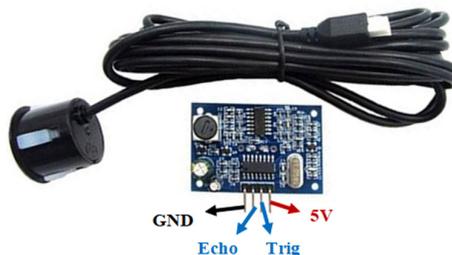
Figura 9 – Sensor de temperatura NTC 3950



Fonte: Tiny Tronics <sup>3</sup>

O sensor ultrassônico necessita ficar na parte superior da panela, por meio de um suporte, apontado para o fundo dela. Dessa forma, ele poderá medir a distância dele até do líquido ou mosto, mantendo sempre o mesmo afastamento dele para o cálculo do volume presente. Este possui quatro pinos, sendo eles de alimentação *VCC*, o terra *GND*, o emissor de ondas ultrassônicas *Trig* e o receptor *Echo*. Estes dois últimos precisam ser ligadas em portas *GPIO* da placa controladora, para realizar a leitura dos dados.

Figura 10 – Sensor Ultrassônico JSN -SR04T



Fonte: components101 <sup>4</sup>

<sup>2</sup><https://quartzcomponents.com/blogs/electronics-projects/interfacing-mq4-gas-sensor-with-arduino-and-buzzer>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

<sup>3</sup><https://www.tinytronics.nl/shop/en/sensors/temperature/ntc-10k-3950-with-cable-waterproof>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

Os componentes do conjunto dos atuadores tiveram a alimentação intermediada por relés conectados ao Raspberry Pi, tornando possível que sejam acionados por linha de código para ligar ou desligar os mesmos quando quiser, e por meio disso fossem automatizados. Iniciando com a instalação da válvula solenoide de água, que por meio de mangueiras é conectada a uma fonte de água local, e a saída direcionada para as painéis, com o objetivo de abastecer elas no funcionamento do sistema. Seus conectores são apenas dois, positivo e negativo, que são ligados a portas correspondente de uma fonte de 12 Volts, que é a tensão apropriada segundo fabricante.

As válvulas de gás, que possuem a função de liberar ou cessar o gás, foram acopladas por meio de mangueiras adequadas nas entradas dos três fogareiros. Elas são ligadas na outra ponta a um botijão de gás, este que fornece o combustível para o aquecimento das painéis. As válvulas possuem também duas conexões de pinos, positiva e negativa, que são alimentadas na tomada de corrente alternada de 220 Volts.

As bombas de água tiveram mangueiras encaixadas em suas entradas e saídas, para que fosse possível posicionar a ponta de entrada na torneira extratora da panela desejada, e a saída em outra panela. Dessa forma, permite realizar as funções de recirculação, trafega e *flysparge* entre as painéis certas durante a produção. Essas bombas foram energizadas na tomada de corrente alternada de 220 Volts, sendo controladas também por código.

O último atuador instalado, foi a usina de ignição, que foi colocada dentro de um pote hermético para segurança, uma vez que lida de forma mais exposta com alta tensão. Este detém a tarefa de produzir centelhas para a ignição para queima do gás nos fogareiros. Para isso, foi posicionado dois pinos, que são conectados por fio a usina, na saída de gás de cada fogareiro, com o objetivo de quando acionado façam a eletricidade fluir pelo ar entre os dois pinos, criando a centelha. A usina também é alimentada pela ligação a tomada da rede elétrica de corrente alternada de 220 Volts.

Por fim, a placa controladora, a Raspberry Pi, é colocada em uma caixa, conectando todos os fios dos sensores e atuadores mencionados anteriormente nesta seção. Para isso, foi utilizado um conector de cabos de fio com 8 saídas, com a finalidade de agrupar os fios conectores de mesma entrada ou saída, como por exemplo os de alimentação 3,3 Volts e terra, deixando o sistema mais organizado e limpo. A organização dos pinos empregados do Raspberry Pi podem ser vistos na relação disposta na Tabela 3.

Com isso, a montagem é concluída, tendo todos os componentes físicos posicionados nos devidos lugares e propriamente conectados para serem monitorados e controlados pelo sistema. A partir disso, é preciso desenvolver a interface *Web* para que a visualização do funcionamento seja mais clara e simples para o usuário.

---

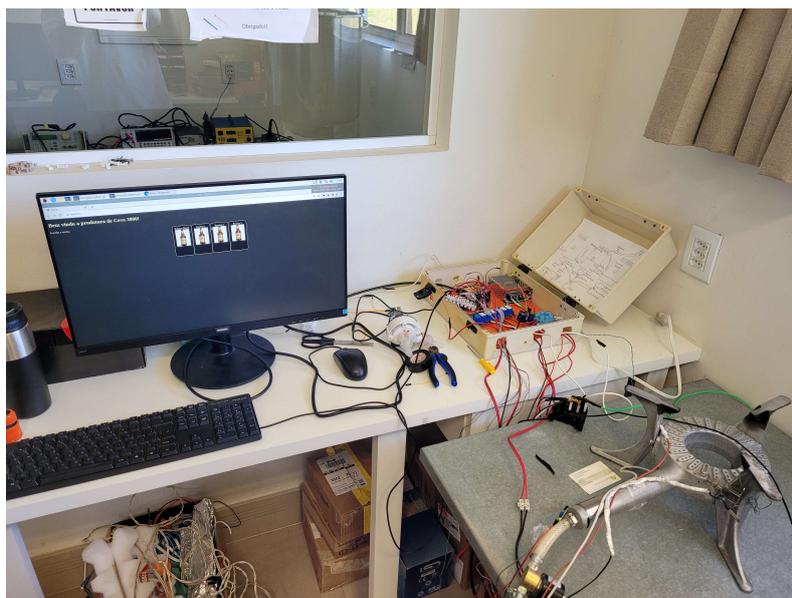
<sup>4</sup><https://components101.com/sensors/jsnsr04t-waterproof-ultrasonic-sensor-pinout-datasheet-working-application-alternative>. Acesso em: 25 de outubro de 2023.

Tabela 3 - Listagem da pinagem do Raspberry Pi

Sensor/Atuador	Pino no Raspberry Pi 3
Solenóide	GPIO21
Válvula de Gás 1	GPIO20
Válvula de Gás 2	GPIO19
Válvula de Gás 3	GPIO12
Bomba Recirculação	GPIO16
Bomba <i>Flysparge</i>	GPIO16
Centelhador	GPIO17
Sensor de gás 1	GPIO23
Sensor de gás 2	GPIO24
Sensor de gás 3	GPIO25
Sensor ultrassônico 1	Trigger: GPIO6 , Echo: GPIO5
Sensor ultrassônico 2	Trigger: GPIO8 , Echo: GPIO7
Conversor AD	SCL: GPIO3 , SDA: GPIO2

Fonte: Próprio autor

Figura 11 – Montagem parcial do componentes conectados ao Raspberry PI



Fonte: Próprio autor

Na Figura 11, é possível ver a montagem do protótipo realizada no laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em que na direita da foto estão os equipamentos cervejeiros em uma bancada de metal, e na caixa foi colocado o Raspberry PI onde todos os fios foram conectados para a comunicação dos sensores e atuadores.

#### 4.5 Interface Web

No desenvolvimento da interface, foram utilizadas para o *frontend*: as linguagens *Javascript*, *HTML* e *CSS*. A comunicação entre cliente e servidor foi feita por meio de

*WebSockets*. A interface gráfica foi pensada para ser simples porém intuitiva. Assim ao abri-la, o usuário irá se deparar com apenas as informações úteis para a produção, de maneira intuitiva.

Por meio da interface o usuário pode selecionar a receita desejada, e alterar a litragem que deseja produzir. Assim, a interface calcula a quantidade correta de ingredientes e automaticamente apresenta os valores corrigidos ao usuário. Estes valores são então enviados ao servidor, pois servirão de parâmetro para as funções do *Hardware*. Após estas informações, é preciso clicar em confirmar, para que o processo de produção se inicie.

Conforme este prossegue, a interface *Web* continuará operando de forma assistiva. Mostrando na tela os volumes de líquido presentes nas panelas em tempo real, para auxiliar no controle da quantidade a ser produzida. Ela também disponibiliza caixas que marcam as etapas já concluídas. Além disso, ela notifica, por meio de mensagens, quando o usuário deverá interagir com o sistema, e quais as ações que devem ser realizadas para prosseguimento da produção, aguardando sempre a confirmação por meio de um botão.

Um exemplo da tela implementada neste sistema de interface pode ser visto na Figura 12, que mostra a tela inicial onde a receita deve ser selecionada na parte superior e também selecionar a quantidade em litros que se deseja para a produção.

Figura 12 – Tela inicial da interface



Fonte: Próprio autor

#### 4.6 Integração interface e Hardware

A etapa de integração da interface com o *Hardware* tratou dos detalhes finais para o sistema ser aplicado e testado. Em que principalmente foram feitas adições de mensagens *JavaScript Object Notation* (JSON) específicas, a serem notificadas ao usuário por meio da interface, para que este realize ações necessárias nos componentes de *Hardware* durante o funcionamento da produção, como por exemplo a troca dos engates das mangueiras das bombas de água em diferentes etapas. Além disso, foi verificada a responsividade do sistema para mostrar na tela da interface os dados de temperatura dos sensores, assim como a visualização dos processos concluídos.

## 5 Resultados

Após a conclusão das etapas de desenvolvimento, foi possível verificar o funcionamento de todo o sistema, avaliando os dados obtidos nos processos de fabricação de cerveja. Para isso, foi preciso utilizar de uma receita de cerveja artesanal, que foi escolhida a do tipo *Belgian Blond Ale*, com 30 litros. O foco é analisar a possível melhora de eficiência da inserção de monitoramento e controle automatizado por um sistema embarcado, quando comparado com a produção totalmente manual. Com esse propósito, os parâmetros utilizados foram: usabilidade, tempo de duração e consumo de gás.

O experimento manual contou com a participação do Prof. Bruno Pansera, um renomado cervejeiro com vasta experiência. Ele leciona sobre cervejaria no Instituto Federal Catarinense, Campus Santa Rosa do Sul, e possui um impressionante histórico de mais de 400 brassagens feitas manualmente. A principal finalidade desse experimento manual era a compreensão e análise aprofundada dos parâmetros essenciais, visando estabelecer uma base sólida para a futura automação do processo. O objetivo era adaptar o sistema de modo a ser utilizado por indivíduos sem experiência prévia na produção de cerveja.

### 5.1 Usabilidade

Nesta parte, a atenção ficou voltada para a interface, por ser a ponte de comunicação entre o usuário e o sistema. A finalidade é de aprimorar a usabilidade, em que até uma pessoa leiga e sem experiência na área consiga operar seguindo todas as instruções passadas pela página *Web* desenvolvida. Nela se tem acesso, inicialmente, a escolha da receita a ser preparada e quantidade desejada em litros, como pode ser visto na Figura 12.

A escolha da do volume irá alterar proporcionalmente nas quantidades dos ingredientes da receita, exibindo exatamente o necessário para a realização do preparo. Com isso, ao selecionar a receita desejada e o volume em litros, o botão *confirma* deve ser clicado, para que seja mostrada a próxima tela, que possui os ingredientes, que pode ser visualizado na Figura 13. O usuário deve analisar os elementos que precisam ser adquiridos para a confecção e confirmar, apertando no botão *confirma* novamente, dando então início ao processo.

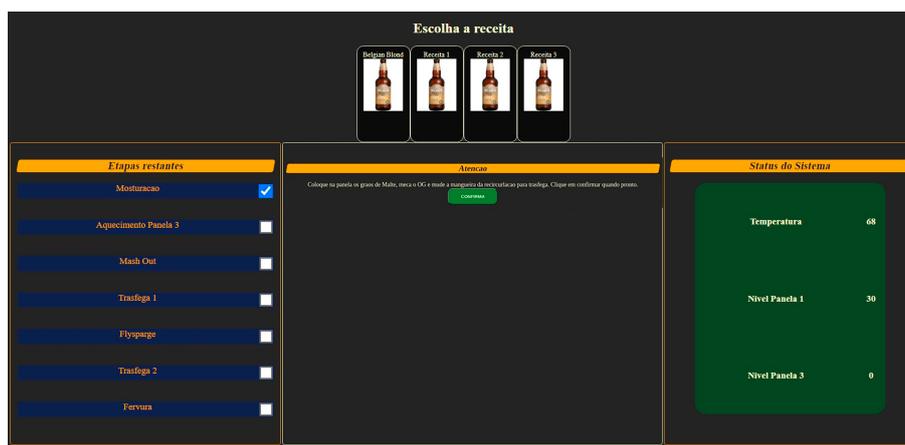
Figura 13 – Tela da receita da interface



Fonte: Próprio autor

A partir deste ponto, a interface começa a mostrar quais etapas já foram concluídas na parte esquerda, marcando a caixinha com verificado. Ela também exibe os valores da temperatura e volumes nas painéis 1 e 3, para monitoramento das quantidades presentes nas painéis durante a produção. Além disso, as notificações com instruções necessárias para o usuário realizar, são mostradas na área central, até que todas as etapas sejam concluídas. Sendo esta, mostrada na Figura 14.

Figura 14 – Tela durante a produção da interface



Fonte: Próprio autor

## 5.2 Eficiência

O objetivo principal deste projeto é trazer mais eficiência e facilidade durante a produção de cerveja artesanal, com o uso de tecnologias para automatizar etapas. Dessa forma, a análise dos resultados desta parte necessita que o protótipo seja aplicado, para realizar as medições de gasto de tempo durante cada processo e de gás no total do funcionamento.

O sistema foi aplicado diversas vezes utilizando apenas água e apenas uma vez a produção de fato com a receita da *Belgian Blond Ale*, com 30 litros, por conta do alto custo dos ingredientes necessários para a confecção da bebida.

A economia de tempo com o uso do sistema de automação de etapas foi verificado tendo como base a produção manual que durou 3 horas e 37 minutos. A partir disso, foi verificada a melhoria alcançada devido à retirada de responsabilidades que o mestre cervejeiro carregaria, em que ações como acionamento de bombas, válvulas e centelhas são realizadas de forma imediata no momentos certos de ocorrerem, sem possíveis atrasos de falha humana. Estes recursos trouxeram uma economia de 21 minutos de tempo de duração, quando comparado a produção manual, mostrando uma eficiência mais interessante ao aplicar o sistema de automação proposto.

O consumo de gás, medido pesando o botijão de 13 kg antes e depois da produção feita pelo protótipo, também foi consideravelmente reduzido. Obtendo uma diferença de 100 g quando comparado com a produção totalmente manual, uma diminuição de aproximadamente 10%, evidenciando que a automação de acionamento e fechamento das

válvulas de gás e centelha trouxe uma melhora no aproveitamento deste recurso, que diminui os custos do produto.

## 6 Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi proposta uma busca de facilitar em diversos aspectos a produção de cerveja artesanal, entendendo as etapas que são realizadas durante este processo, com a finalidade de selecionar onde poderia ser aplicado tecnologias de automação sem perder a essência de artesanal da bebida. Assim, é possível reduzir a carga de trabalho manual do mestre cervejeiro, ao ponto de viabilizar que uma pessoa leiga opere a produção mantendo o nível de qualidade, uma vez que o sistema controla e monitora de forma padronizada.

Na pesquisa foi possível ver os benefícios que a inserção de métodos e dispositivos tecnológicos podem trazer para produção de cerveja artesanal. Dessa forma, evidenciando que essa indústria, crescente no Brasil, não aproveita o potencial que a automação traz à eficiência, devido à carência de investimentos em tecnologia em cervejarias, como visto nos textos de referência. Para isso, o interesse em buscar uma solução de automatizar etapas da confecção da bebida, foi de manter baixo custo, com sensores e atuadores comuns e acessíveis, viabilizando um sistema que facilite o trabalho neste mercado.

No decorrer do desenvolvimento, houve o planejamento e montagem de um protótipo para realizar os testes. Com a finalidade de verificar se o resultado esperado, de facilitar a produção de cerveja, poderia ser alcançado utilizando componentes mais acessíveis de automação. A partir disso, foi notada a necessidade de cuidado com detalhes, como cuidado com a temperatura que ao passar de certo do valor desejado, em poucos graus Celsius, pode comprometer o produto, assim como, ter que respeitar os instantes corretos para adição de ingredientes e períodos de cozimento em cada etapa. Estas especificidades podem ser atendidas com um sistema automatizado, mantendo o nível de qualidade, uma vez que a chance de erro humano é altamente reduzido.

Com isso, o protótipo funcionou como esperado, tornando possível diminuir as responsabilidades do mestre cervejeiro, manter a produção padronizada, reduzir os custos de tempo e gás, ter uma interface intuitiva e assistiva que uma pessoa inexperiente poderia operar. Posto isso, o sistema de automatização de produção de cerveja artesanal obteve resultados positivos sobre seu funcionamento, verificando a proposta deste trabalho.

Para trabalhos futuros, a adição de um banco de dados próprio para o armazenamento de diversas receitas de cervejas, possibilitando o mestre cervejeiro inserir receitas parciais ou completas, podendo possuir conjuntos de etapas diferentes, declarando todas as informações a partir de uma interface amigável e intuitiva. Além disso, também pode ser indicada o uso de aquecimento por indução, que evitaria a presença de botijão de gás, sensores de gás, atuadores para abrir e fechar a centelha e válvulas de gás, reduzindo a complexidade do sistema.

## Referências

ABRABE. *Um brinde à vida: a história das bebidas*. São Paulo: Editora DBA, 2014. Disponível em: <<http://www.abrabe.org.br/abrabe/livro-digital/>>. Citado na página [7].

ABRABE. *40 maiores cervejarias venderam 80 milhões de hectolitros a mais em 2021*. São Paulo: Editora DBA, 2022. Disponível em: <<https://guiadacervejabr.com/moiores-cervejarias-mundo-venda-2021-veja-lista/#:~:text=De%20acordo%20com%20levantamento%20do,hectolitros%20em%20rela.Ã§Ã£o%20a%202019>>. Citado na página [7].

AL., F. P. et. A KPI-based Condition Monitoring System for the Beer Brewing Process. *24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, p. 1469–1472, 9 2019. Citado na página [12].

AL., H. et. Automation of the maceration process of the malt for the production of craft beer. p. 53–61, 9 2018. Citado na página [12].

AL, J. H. S. et. Consumo de bebidas alcoólicas e não alcoólicas: Resultados do ELSA-Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 26, p. 3825–3837, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-81232021269.2.30682019>>. Citado na página [7].

ASSIS MÔNICA TEJO CAVALCANTI, M. C. G. T. L. S. L. I. M. B. N. Q. Higo Moreira de. Cerveja Artesanal: Componentes e Processos Produtivos. *Congresso Internacional da Agroindústria (CIAGRO 2021)*, 6 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.31692/HICIAGRO.0106>>. Citado na página [10].

BAIANO, A. Craft beer: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 20, n. 2, p. 1829–1856, 2021. Disponível em: <<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1541-4337.12693>>. Citado na página [9].

BARTHHAAS. *The Industry Report of the Year*. 2022. Disponível em: <<https://www.barthhaas.com/resources/barthhaas-report#!beer-production>>. Citado na página [7].

BRASIL. *Anuário da Cerveja 2019*. Ministério da Agricultura, 2020. Disponível em: <[http://www.cervbrasil.org.br/novo/\\_site/anuario-da-cerveja-2019](http://www.cervbrasil.org.br/novo/_site/anuario-da-cerveja-2019)>. Citado na página [7].

BREANCINI, G. Filtração da cerveja: descrição, equipamentos e estudos de casos. *Universidade Federal de Uberlândia*, 12 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/28419>>. Citado na página [10].

CHARLEAUX, L. *O que é Computação Ubíqua?* Canal Tech, 2022. Disponível em: <<https://canaltech.com.br/produtos/o-que-e-computacao-ubiqua-1406/>>. Citado na página [8].

FLORES MIGUEL MAGOS RIVERA, J. A. L. C. J. M. D. M. J. A.; VIVEROS, J. A. G. Simulación y control del proceso de maceración de una cervecería artesanal. *Tecnológico Nacional de México en Celaya, Pistas Educativas*, n. 128, 2 2018. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/229040375.pdf>>. Citado na página [12].

GUAN, S.; HU, W.; ZHOU, H. Real-time data transmission method based on websocket protocol for networked control system laboratory. In: *2019 Chinese Control Conference (CCC)*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 5339–5344. Citado (2) vezes nas páginas [8 e 9].

LAVINSCKY, M. d. C. Trajetória e sentidos da cerveja: das origens europeias à formação do brasil moderno. *Revista Mosaico - Revista de História*, v. 10, p. 48–66, 8 2017. Disponível em: <<https://seer.pucgoias.edu.br/index.php/mosaico/article/view/5613>>. Citado na página [7].

- MAFRA, E. *Brasil mostra que é um país cada vez mais cervejeiro*. Forbes, 2022. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2022/09/brasil-mostra-que-e-um-pais-cada-vez-mais-cervejeiro/>>. Citado na página [7].
- MELLO, J.; SILVA, J. Requisitos de produto para um projeto de cerveja artesanal. *Innovar*, v. 30, p. 39–52, 7 2020. Citado na página [7].
- MONQUEIRO, J. C. B. *Computação ubíqua*. Hardware.com, 2008. Disponível em: <<https://www.hardware.com.br/artigos/computacao-ubiqua/>>. Citado na página [8].
- OLIVEIRA; BARCELLOS. Technology, production paradigm and operation: Transformation of Brazilian brewing sector. UFRGS, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.12660/joscmv10n2p44-55>>. Citado na página [7].
- OLIVEIRA, N. A. M. de. Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja. *Universidade Federal de Minas Gerais*, 7 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/BUOS-99VHHA>>. Citado (3) vezes nas páginas [9, 10 e 11].
- PALMER, J. J. *How to Brew*. [S.l.]: Colorado: Brewers Publications, 2006. Citado na página [10].
- REBELLO, F. D. F. P. Produção de cerveja. *Revista Agrogeoambiental*, v. 1, n. 3, p. 11, 12 2009. Disponível em: <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/224>>. Citado (2) vezes nas páginas [7 e 10].
- RODRIGUEZ LEONARDO VINCES, N. M. L.; CARPIO, C. del. Development of an Automatic Equipment for Craft Beer Maceration. *Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería*, Blackwell Publishing Ltd, p. 1–5, 2019. Citado (2) vezes nas páginas [11 e 12].
- SALANŃă, L. C. et al. Non-alcoholic and craft beer production and challenges. *Processes*, v. 8, n. 11, 2020. ISSN 2227-9717. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2227-9717/8/11/1382>>. Citado na página [11].
- SIQUEIRA, H. M. A. B. P. B.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. Faculdade de Ciências Farmacêuticas UNESP, v. 19, p. 491–498, 10-12 2008. Disponível em: <<https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&u=googlescholar&id=GALE|A202074091&v=2.1&it=r&sid=AONE&asid=0753f009>>. Citado na página [10].
- SOUZA. *Maltes e suas aplicações na produção de cerveja*. 2022. Citado na página [10].
- TAMO, A. H.-T. A. Implementing WLAN-IoT control system for brewing fermentation through Raspberry PI. *2020 IEEE XXVII International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, IEEE, p. 23–26, 10 2020. Citado na página [13].
- TAYLOR, A. *O que são WebSockets e Como Criá-los?* AppMaster, 2022. Disponível em: <<https://appmaster.io/pt/blog/o-que-sao-websockets-e-como-cria-los>>. Citado na página [8].
- VILLALOBOS, V. Scientia agropecuaria: revista científica de la Universidad Nacional de Trujillo. *Universidad Nacional de Trujillo*, Revista científica de la Universidad Nacional de Trujillo, v. 1, n. 2, p. 125–137, 2020. ISSN 2077-9917. Citado na página [12].

VIOLINO, S. et al. Internet of beer: A review on smart technologies from mash to pint. *Foods*, v. 9, n. 7, 2020. ISSN 2304-8158. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2304-8158/9/7/950>>. Citado na página [13].