

**LUCIANO MURTA GASPAR CARDOSO**

**MONITORAMENTO DE BAIXO CUSTO APLICADO A PROCESSOS  
BIOTECNOLÓGICOS - ESTUDO DE CASO DA PRODUÇÃO DE CERVEJA  
ARTESANAL**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual.

Orientador: Evanguedes Kalapothakis  
Coordenador: Frédéric Jean Georges Frézard

**BELO HORIZONTE**

**2017**

**LUCIANO MURTA GASPAR CARDOSO**

**MONITORAMENTO DE BAIXO CUSTO APLICADO À PROCESSOS  
BIOTECNOLÓGICOS - ESTUDO DE CASO DA PRODUÇÃO DE CERVEJA  
ARTESANAL**

**Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências  
Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais,  
como requisito parcial para a obtenção do título de  
Mestre em Inovação Tecnológica e Propriedade  
Intelectual.**

**Orientador: Evanguedes Kalapothakis  
Coordenador: Frédéric Jean Georges Frézard**

**BELO HORIZONTE**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

À Phoneutria Biotecnologia e Serviços Ltda., pelo uso do espaço e equipamentos.

Ao CIT-SENAI - Instituto SENAI de Tecnologia em Alimentos & Bebidas, pelo apoio e suporte técnico ao projeto.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelas bolsas e apoio financeiro.

À UFMG e em particular ao ICB - Instituto de Ciências Biológicas e o Programa de Pós-Graduação, pelo conhecimento adquiridos durante o curso.

À minha esposa Ivana pelo apoio e compreensão.

Dedico

“A Ilha do conhecimento se expande, e nossa capacidade de investigar mais afundo os profundos segredos da Natureza e chegarmos ao final de todas as perguntas se torna incognoscível. Vemos sempre claramente, mas nunca claro o suficiente..”

Marcelo Gleiser.

## SUMÁRIO

|   |            |
|---|------------|
| <b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....</b>                          | <b>VII</b> |
| <b>RESUMO.....</b>  | <b>IX</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                      | <b>X</b>   |
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                  | <b>12</b>  |
| 1.1 A PRODUÇÃO DE CERVEJA.....                            | 12         |
| 1.2 PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE CERVEJA..... | 16         |
| 1.3 AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO.....                         | 20         |
| 1.3.1 Microcontroladores e o Arduino.....                 | 20         |
| 1.3.2 Conectando com o mundo real.....                    | 22         |
| 1.3.3 Monitoramento remoto.....                           | 23         |
| 1.4 SENSORES.....   | 24         |
| 1.4.1 Precisão e Seletividade.....                        | 26         |
| 1.5 SENSORES DE GÁS.....                                  | 27         |
| 1.5.1 Sensor de CO <sub>2</sub> .....                     | 28         |
| 1.5.2 Sensor de Cores.....                                | 31         |
| 1.6 RECONHECIMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS.....              | 33         |
| <b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>                             | <b>35</b>  |
| 2.1 MONITORAMENTO DE COR.....                             | 35         |
| 2.1.1 O teste do Iodo.....                                | 35         |
| 2.1.2 - O teste do Alamar Blue ou Resazurina.....         | 36         |
| 2.1.3 A cor final da Cerveja.....                         | 37         |
| 2.1.4 Experimentação.....                                 | 39         |
| 2.1.4.1 Análise de cor.....                               | 39         |
| 2.1.4.2 Monitoramento do inóculo.....                     | 42         |
| 2.1.5 Conclusão do experimento.....                       | 45         |
| 2.2 MONITORAMENTO DA FERMENTAÇÃO.....                     | 46         |
| 2.2.1 Monitoramento de CO <sub>2</sub> .....              | 46         |
| 2.2.1.1 Calibração dos sensores.....                      | 46         |
| 2.2.2 Preparação do Extrato de Malte.....                 | 49         |
| 2.2.3 Preparação da Fermentação.....                      | 51         |
| 2.2.4 Preparação do inóculo.....                          | 51         |
| 2.2.5 Preparação dos experimentos.....                    | 52         |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.6 Detalhamento dos experimentos.....   | 60        |
| 2.2.7 Repetição dos experimentos.....  | 61        |
| 2.2.8 Conclusão do experimento.....  | 63        |
| 2.3 OS PROTÓTIPOS.....   | 64        |
| 2.3.1 Hardware.....  | 64        |
| 2.3.2 Software.....  | 68        |
| 2.4 CUSTOS DE PRODUÇÃO.....  | 69        |
| 2.5 O MERCADO DA CERVEJA ARTESANAL.....  | 71        |
| 2.6 PESQUISA DE MERCADO.....   | 72        |
| 2.7 PROPRIEDADE INTELECTUAL.....   | 76        |
| 2.7.1 Código Aberto.....   | 76        |
| 2.7.2 O exemplo do Projeto Arduino.....  | 77        |
| 2.7.3 Como ter lucros com produtos copiáveis.....                                | 77        |
| <b>3 CONCLUSÕES.....</b>   | <b>79</b> |
| 3.1.1 Proposta para desenvolvimento futuro.....                                  | 80        |
| <b>4 REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>83</b> |
| <b>5 ANEXOS.....</b>   | <b>86</b> |
| 5.1 CÓDIGO EXEMPLO PARA TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA DO<br>SENSOR MG-811..... | 86        |
| 5.2 SENSORES DE GASES DISPONÍVEIS NO FORNECEDOR DFROBOT.....                     | 88        |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Etapas da produção de cerveja.....                     | 15 |
| Figura 2: Fermentação Etanólica.....                             | 16 |
| Figura 3: Variação da biomassa durante a fermentação.....        | 18 |
| Figura 4: Consumo de açúcar.....                                 | 19 |
| Figura 5: Produção de Etanol.....                                | 19 |
| Figura 6: Exemplo de microcontrolador (Atmega).....              | 20 |
| Figura 7: Exemplo de um microcontrolador Arduino.....            | 21 |
| Figura 8: Esquema de conexões do Arduino Uno.....                | 22 |
| Figura 9: Arquitetura típica de uma aplicação com Arduino.....   | 23 |
| Figura 10: Exemplo de monitoramento remoto.....                  | 24 |
| Figura 11: Exemplo de módulo de sensor para Arduino.....         | 25 |
| Figura 12: Diversos tipos de sensores.....                       | 25 |
| Figura 13: Fatores que influenciam a precisão de medições.....   | 27 |
| Figura 14: Exemplo de sensor de CO2.....                         | 29 |
| Figura 15: Esquemático de funcionamento do sensor MG811.....     | 29 |
| Figura 16: Exemplo de conexão do sensor de CO2.....              | 30 |
| Figura 17: Sensibilidade do MG-811.....                          | 31 |
| Figura 18: Sensor de cores RGB.....                              | 32 |
| Figura 19: Esquema do Sensor de cores RGB.....                   | 33 |
| Figura 20: Exemplo de teste com AlamarBlue.....                  | 36 |
| Figura 21: Exemplo de identificação da cor final da cerveja..... | 39 |
| Figura 22: Exemplo de sistema para identificar cores.....        | 40 |
| Figura 23: Amostras de cerveja.....                              | 41 |
| Figura 24: Resultado do sistema de identificação de cor.....     | 41 |
| Figura 25: Comparação das cores das amostras.....                | 42 |
| Figura 26: Montagem para leitura via câmera.....                 | 43 |
| Figura 27: Vista da placa de cultura.....                        | 44 |
| Figura 28: Exemplo de uso do alamar blue e lodo.....             | 45 |
| Figura 29: Sistema para identificar cores.....                   | 46 |
| Figura 30: Incubadora de CO2.....                                | 47 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 31: Cilindro comercial de CO2.....                                 | 47 |
| Figura 32: Calibração do Sensor de CO2.....                               | 48 |
| Figura 33: Levedura e Lúpulo.....   | 50 |
| Figura 34: Variedades de Maltes.....                                      | 50 |
| Figura 35: Armazenamento do inóculo.....                                  | 52 |
| Figura 36: Airlock.....   | 53 |
| Figura 37: Frasco com mosto.....  | 54 |
| Figura 38: Conexão dos sensores.....                                      | 55 |
| Figura 39: Sistema de aquecimento.....                                    | 56 |
| Figura 40: Sistema de resfriamento.....                                   | 57 |
| Figura 41: Sistema com banho-maria.....                                   | 58 |
| Figura 42: Dados recebidos durante a fermentação.....                     | 60 |
| Figura 43: Resultado do monitoramento das fermentações.....               | 63 |
| Figura 44: Experimentos CER.....  | 64 |
| Figura 45: Protótipo do sensor de CO2 usado nos experimentos.....         | 65 |
| Figura 46: Vista dos componentes do protótipo usado nos experimentos....  | 65 |
| Figura 47: Vista dos sensores dos protótipos usados nos experimentos..... | 66 |
| Figura 48: Vista do Arduino, microcontrolador usado no protótipo.....     | 66 |
| Figura 49: Conectores padronizados.....                                   | 67 |
| Figura 50: Caixa padrão para arduino.....                                 | 68 |
| Figura 51: Exemplo de Sensor comercial de gás.....                        | 68 |
| Figura 52: Biblioteca FLOT.....   | 69 |
| Figura 53: Dados resultantes das entrevistas.....                         | 74 |
| Figura 54: Pesquisa sobre monitoramento da fermentação.....               | 75 |
| Figura 55: Pesquisa sobre de medição de cor.....                          | 76 |
| Figura 56: Proposta para desenvolvimento futuro.....                      | 81 |
| Figura 57: Exemplo de pHmetro conectado a um microntrolador Arduino....   | 82 |
| Figura 58: Desenvolvimento de novos produtos de forma colaborativa.....   | 83 |

## RESUMO

Monitoramento de baixo custo aplicado a processos biotecnológicos - Estudo de caso da produção de cerveja artesanal

É comum que universidades e pequenas empresas encontrem dificuldades na aquisição de equipamentos de uso laboratorial devido ao alto custo de compra e manutenção dos mesmos. Isto acarreta atraso nas pesquisas e no desenvolvimento de novos produtos. Recursos financeiros que poderiam ser utilizados no desenvolvimento da pesquisa são alocados somente para aquisição e manutenção de equipamentos. Por outro lado, avanços na área de eletrônica e informática, estão trazendo ao mercado equipamentos e sensores mais potentes e a custos cada vez mais acessíveis, como por exemplo os microcontroladores Arduino e Raspberry-Pi e os sensores de gás de estado sólido. A utilização destes avanços da microeletrônica na automação e monitoramento de processos biotecnológicos permitirá que as inovações desenvolvidas na universidade cheguem técnica e economicamente viáveis ao mercado. Este trabalho estuda o caso da aplicação de sensores de baixo custo para monitorar o processo de fermentação da cerveja, analisando a viabilidade e praticidade de seu uso em outros processos biotecnológicos.

**Descritores:** biotecnologia, fermentação, monitoramento, cerveja, sensores, microcontroladores

## ABSTRACT

Low cost monitoring applied to biotechnological processes - Case study of craft beer production

It is common for universities and small businesses to find difficulties in acquiring laboratory equipment due to the high cost of purchasing and maintaining them. This leads to delays in research and development of new products. Financial resources that could be used to develop the research are allocated only for equipment acquisition and maintenance. On the other hand, advances in the area of electronics and computing, are bringing to the market more powerful equipment and sensors at increasingly affordable costs, such as the Arduino and Raspberry-Pi micro-controllers and solid-state gas sensors. The use of these advances in microelectronics in the automation and monitoring of biotechnological processes will allow the innovations developed in the university to arrive technically and economically viable to the market. This work studies the case of the application of low cost sensors to monitor the beer fermentation process, analyzing the feasibility and practicality of its use in other biotechnological processes.

**Key words:** biotechnology, sensors, micro-controllers, fermentation, beer

# **1 INTRODUÇÃO**

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 A PRODUÇÃO DE CERVEJA

A produção de cerveja tem sido uma atividade humana desde o começo da urbanização com alguns historiadores sugerindo a existência de bebidas do tipo da cerveja desde 7.000 AC na China e existem relatos escritos desde 2.800 AC na mesopotâmia.

A cerveja é um produto valorizado tanto por suas características físico-químicas como também pelos seus antigos valores religiosos, culinários e associação ética (i.e. a tradição) (MEUSSDOERFFER, 2009) (WILLAERT, 2012).

Genericamente, define-se cerveja como uma *bebida carbonatada de teor alcoólico entre 3 e 8% (v/v), preparada a partir de malte de cevada, lúpulo, fermento e água de boa qualidade, permitindo-se ainda o uso de outras matérias primas como arroz, milho e trigo.*

A produção de cerveja possui o recorde de ser o alimento que possui a lei mais antiga regulamentado a sua produção. Conhecida como a “lei da pureza da cerveja alemã”, a *Reinheitsgebot* data de 1487. Esta lei tinha o objetivo inicial de evitar o uso do trigo na produção de cerveja e com isso, manter o preço do pão baixo (WILLAERT, 2012).

Esta lei limitava os ingredientes em Cevada, Água e Lúpulo. Com o tempo a lei sofreu algumas adaptações. Por exemplo, naquela época não se sabia da existência das Leveduras. A fermentação era feita em potes abertos e a fermentação ocorria pelas leveduras que “contaminavam” o caldo.

A lei atual de 1993, inclui a Levedura e limita os ingredientes em Malte de Cevada, Lúpulo, Água e Levedura para as cervejas de baixa fermentação enquanto que para as cervejas de alta fermentação, diferentes tipos de maltes são permitidos além da possibilidade da adição de açúcares.

Entretanto, é prática comum e aceitável a utilização de amidos e adição de açúcares tanto para as cervejas de alta e baixa fermentação.

O Brasil produz, em volume, 8,5 bilhões de litros anuais, perdendo apenas para a China (27 bilhões de litros/ano), Estados Unidos (23,6 bilhões de litros/ano), Alemanha (10,5 bilhões de litros/ano) e Rússia (9 bilhões de litros/ano), sendo o

consumo per capita no Brasil o nono maior do mundo, com uma média de 47,6 litros/ano por habitante (LIMA, 2016).

De modo geral, a cerveja pode ser dividida em dois grandes grupos: as do tipo Ale, dentre as quais se destacam a Porter e a Stout, e as do tipo Lager, como a Pilsen, a Munique e a Bock. As cervejas do tipo Ale são fabricadas por meio de fermentação superficial ou “alta”. São, em geral, de cor clara, com sabor pronunciado de lúpulo, ligeiramente ácidas, e seu teor alcoólico varia de 4% a 8%. O processo de fermentação ocorre entre a temperatura de 20° C e 25° C, com duração de 2 a 5 dias e a maturação entre 4,5° C e 8° C.

As leveduras usadas na produção de cerveja são da variedade *Saccharomyces*. Apesar de que todas as leveduras deste tipo produzam etanol como produto final da fermentação, variedades diferentes são usadas para cada tipo de cerveja, como a Ale e a Lager (BOKULICH; BAMFORTH, 2013).

As leveduras do tipo Ale são as *Saccharomyces cerevisiae*, são as mais comuns e são encontradas e isoladas em diversas regiões do mundo. São conhecidas como “leveduras de fermentação alta”, porquê durante o processo tradicional de fermentação elas tendem a se acumular na parte superior do caldo de fermentação, o que facilita a sua separação manual ao final do processo.

Por sua vez, a levedura tipo Lager tende a decantar e é por isso conhecida como “levedura de fermentação baixa”. A nomenclatura deste tipo de levedura tem mudado com os avanços das pesquisas, passando de *S. carlsbergensis* e *S. cerevisiae* do tipo lager para a nomenclatura atualmente usada de *S. pastorianus*. (BOKULICH; BAMFORTH, 2013).

As matérias-primas essenciais para a fabricação da cerveja são: água, malte, levedura e lúpulo. Outros componentes, denominados adjuntos, podem ser utilizados para substituição parcial do malte.

O processo de fabricação do malte chama-se maltagem, que envolve o controle do umedecimento com água e posterior germinação sob condições controladas de temperatura com o intuito de formação das enzimas necessárias à hidrólise dos polissacarídeos e do amido presente no grão.

Dentro da fábrica de cerveja o processo de produção envolve a moagem do malte, mosturação, fervura, fermentação e maturação.

A mosturação tem por objetivo promover a hidrólise do amido a açúcares fermentescíveis (maltose, glicose e maltotrioses) acompanhado de dextrinas de cadeias curtas ou longas. São extraídos aproximadamente 65 % dos sólidos totais do malte, que em suspensão em água constituirão o mosto para a fermentação da cerveja. O ponto final da mosturação é a degradação do amido, que se hidrolisa a açúcares fermentescíveis como maltose, glicose e maltotrioses, além de formar dextrinas.

Após a mosturação, o mosto é separado e cozido junto com o lúpulo a aproximadamente 100 °C. Durante esta etapa há inativação das enzimas e esterilização do mosto. Há também formação de compostos responsáveis pela cor e sabor do produto, através da reação de Maillard e caramelização, e extração de compostos de amargor e aromáticos do lúpulo. Nesta etapa é possível remover, por evaporação, compostos voláteis indesejáveis, como o dimetil sulfeto.

No processo de fermentação, a levedura é adicionada no mosto aerado, e se reproduz rapidamente devido à alta quantidade de O<sub>2</sub> dissolvido no meio, oxidando o piruvato até CO<sub>2</sub> e água. Depois que todo o oxigênio é consumido, as células de levedura passam a utilizar o açúcar de forma anaeróbica, fermentando esses açúcares em etanol e CO<sub>2</sub>.

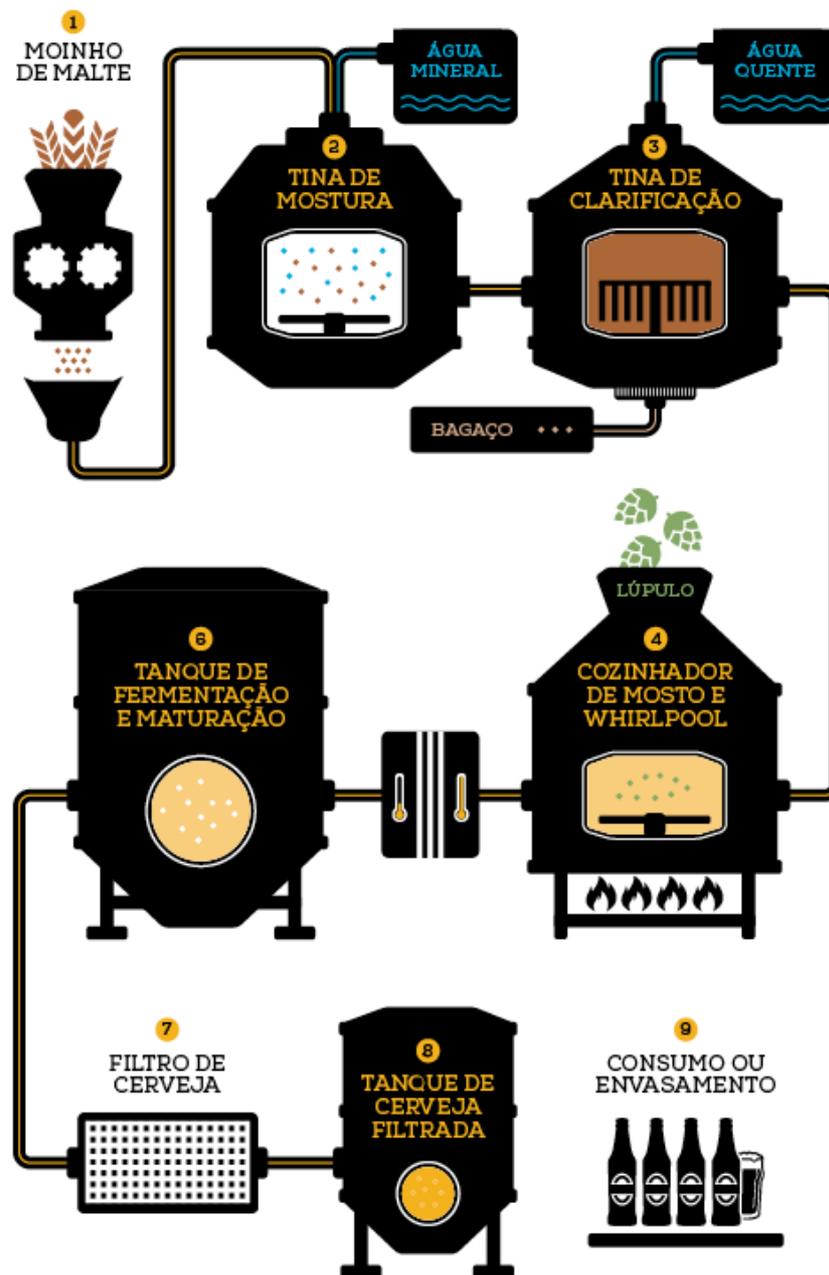


Figura 1: Etapas da produção de cerveja  
 O processo industrial de produção de cerveja normalmente inclui as seguintes etapas: Moagem, Mosturação, Clarificação, Fervura, Fermentação, Filtragem, Armazenamento e Envase.  
 Fonte: Diário do Comércio (IBELLI, 2014).

Após a fermentação principal, a cerveja verde, que ainda possui uma suspensão de leveduras e uma parte de material fermentescível, passa por uma fermentação secundária chamada maturação. Esta etapa do processo é realizada sob temperaturas de 0 a 3°C, e contribui para a clarificação da cerveja e melhoria do seu sabor (WILLAERT, 2012).

## 1.2 PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE CERVEJA

O mostro é convertido em cerveja durante a fermentação alcoólica e a maturação, que são os processos de maior duração da produção de cerveja. A fermentação primária dura de 3 a 6 dias e a maturação até 2 semanas, dependendo do tipo da fermentação e do equipamento usado.

A fermentação alcoólica ocorre como resultado da atividade enzimática da levedura, seguindo o ciclo Embden-Meyerhof-Parnas (EMP), que leva à conversão da glucose em piruvato. Em condições anaeróbicas a levedura converte o piruvato em etanol e CO<sub>2</sub>. Em condições aeróbicas, a levedura consome açúcares, principalmente para acumular biomassa e produzir CO<sub>2</sub> (KANG; LEE, 2015).

A figura 2 mostra esquematicamente o caminho da fermentação etanólica com *Saccharomyces cerevisiae* e *Zymomonas mobilis*.

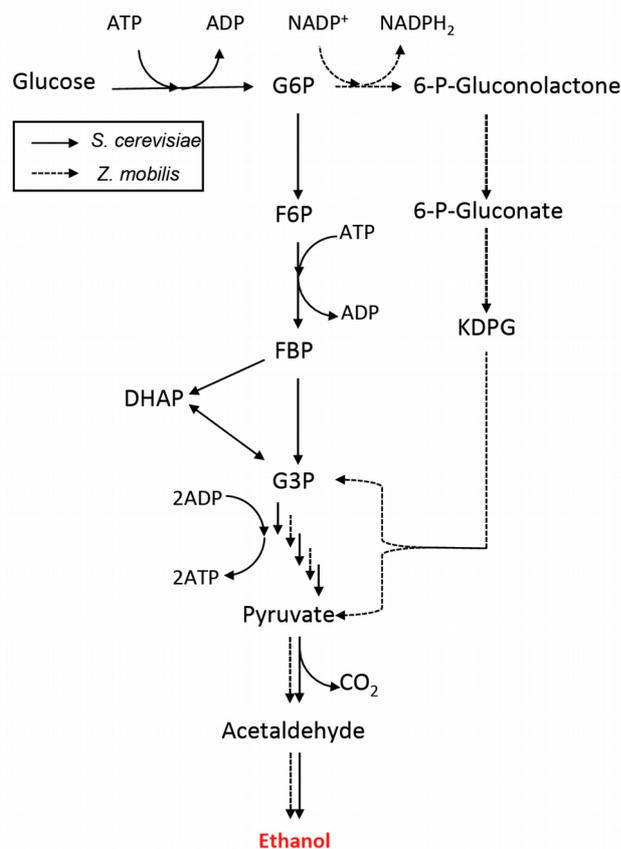


Figura 2: Fermentação Etanólica  
Esquema Fermentação Etanólica da utilizando *S. cerevisiae* e *Z. Mobilis*.  
Fonte: (KANG; LEE, 2015)



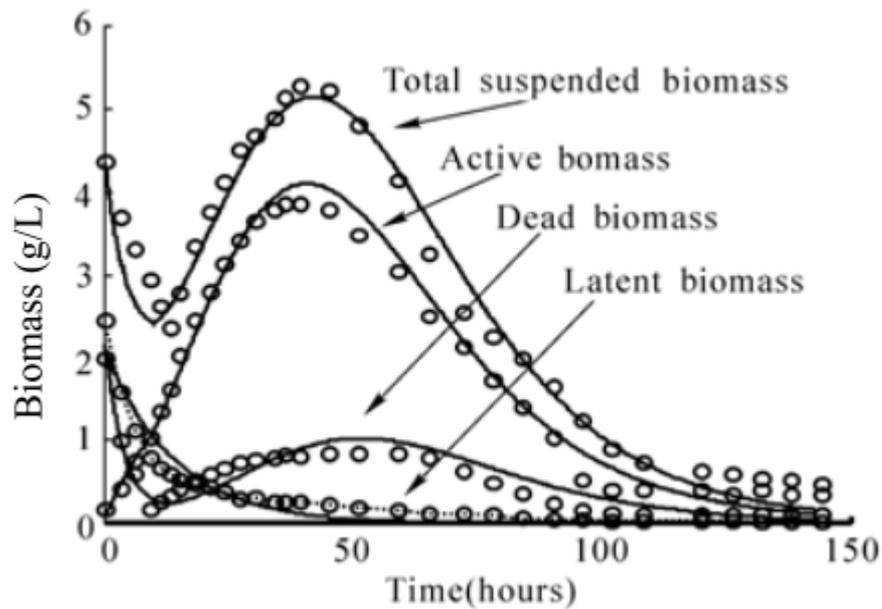


Figura 3: Variação da biomassa durante a fermentação  
Total de biomassa ativa, suspensa e morta durante o processo de fermentação.  
Fonte: (ANDRÉS-TORO et al., 2004).

Durante a fase de fermentação, a levedura ativa cresce produzindo nova biomassa. Parte desta biomassa começa a morrer, como pode visto na figura 3.

A produção e consequente concentração de etanol não é constante mas aumenta ao longo do tempo correspondendo ao consumo de açúcares do mosto (figuras 4 e 5). O aumento da concentração de etanol tem um efeito inibidor no processo de fermentação.

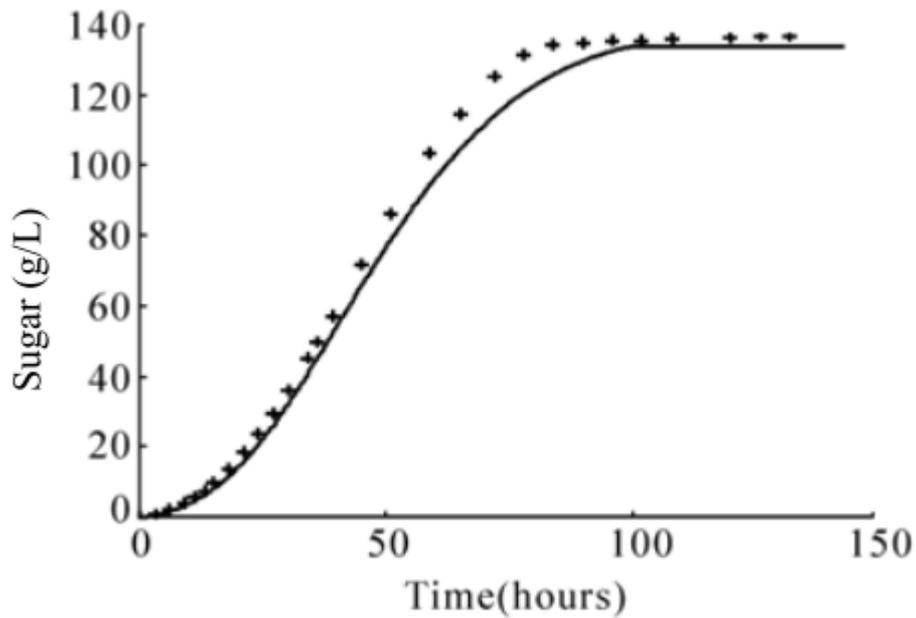


Figura 4: Consumo de açúcar  
Evolução do consumo de açúcares durante o processo de fermentação.  
Fonte: (ANDRÉS-TORO et al., 2004) .

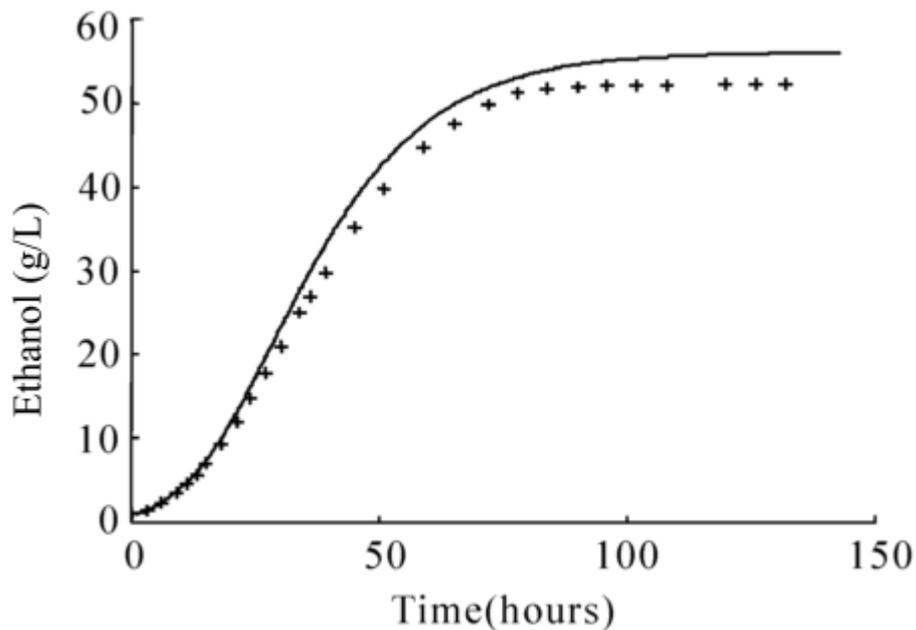


Figura 5: Produção de Etanol  
Evolução da produção de etanol durante o processo de fermentação.  
Fonte: (ANDRÉS-TORO et al., 2004).

Durante a fermentação, a levedura também produz uma gama de produtos, além do CO<sub>2</sub> e do etanol (BOKULICH; BAMFORTH, 2013). Estes produtos podem influenciar o gosto final da cerveja.

Para maiores detalhes sobre a microbiologia do processo de fermentação ver (BOKULICH; BAMFORTH, 2013).

As principais diferenças entre uma produção de cerveja industrial e a produção artesanal é que as cervejas artesanais não passam por complexos processos de filtração e não são pasteurizadas (GIOVENZANA; BEGHI; GUIDETTI, 2014) com o objetivo de tentar manter ao máximo o sabor natural da cerveja. Devido à falta de pasteurização, estão mais propensas a problemas de contaminação microbiana que podem levar a problemas como turbidez, acidificação e a produção de compostos aromáticos não desejáveis.

### 1.3 AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO

#### 1.3.1 Microcontroladores e o Arduino

Um microcontrolador (Figura 6) é um pequeno computador (SoC) em um único circuito integrado contendo um núcleo processador, memória e entradas/saídas programáveis. A memória para programas criados pelo usuário, normalmente do tipo flash ou ROM, também é muitas vezes incluído no chip, bem como uma pequena quantidade de RAM para armazenar dados. Os microcontroladores são concebidos para aplicações embarcadas, em contraste com os microprocessadores utilizados em computadores pessoais ou outras aplicações de uso geral.



Figura 6: Exemplo de microcontrolador (Atmega).  
Os microcontroladores são pequenos computadores integrados em um único chip.  
Fonte: ("ATmega328P - Microcontrollers and Processors", 2017)

Microcontroladores são usados em produtos e dispositivos controlados automaticamente, como os sistemas de controle do motor de automóveis, dispositivos médicos implantáveis, controles remotos, máquinas de escritório, eletrodomésticos, ferramentas elétricas, brinquedos e outros sistemas embarcados.

Ao reduzir o tamanho e o custo em comparação a um projeto que usa um microprocessador, memória e sistemas entrada/saídas separados, os microcontroladores reduzem o custo tornando economicamente viável controlar digitalmente vários equipamentos e processos. É bastante difuso o uso de microcontroladores mistos que possuem componentes analógicos e digitais para controlar sistemas eletrônicos que não são digitais.

O Arduino é uma plataforma de código aberto usado para a construção de projetos eletrônicos. Arduino consiste tanto uma placa de circuito físico programável (o microcontrolador) e um software, ou IDE (Integrated Development Environment) que é executado em seu computador, usado para escrever e carregar o código do computador para a placa física.

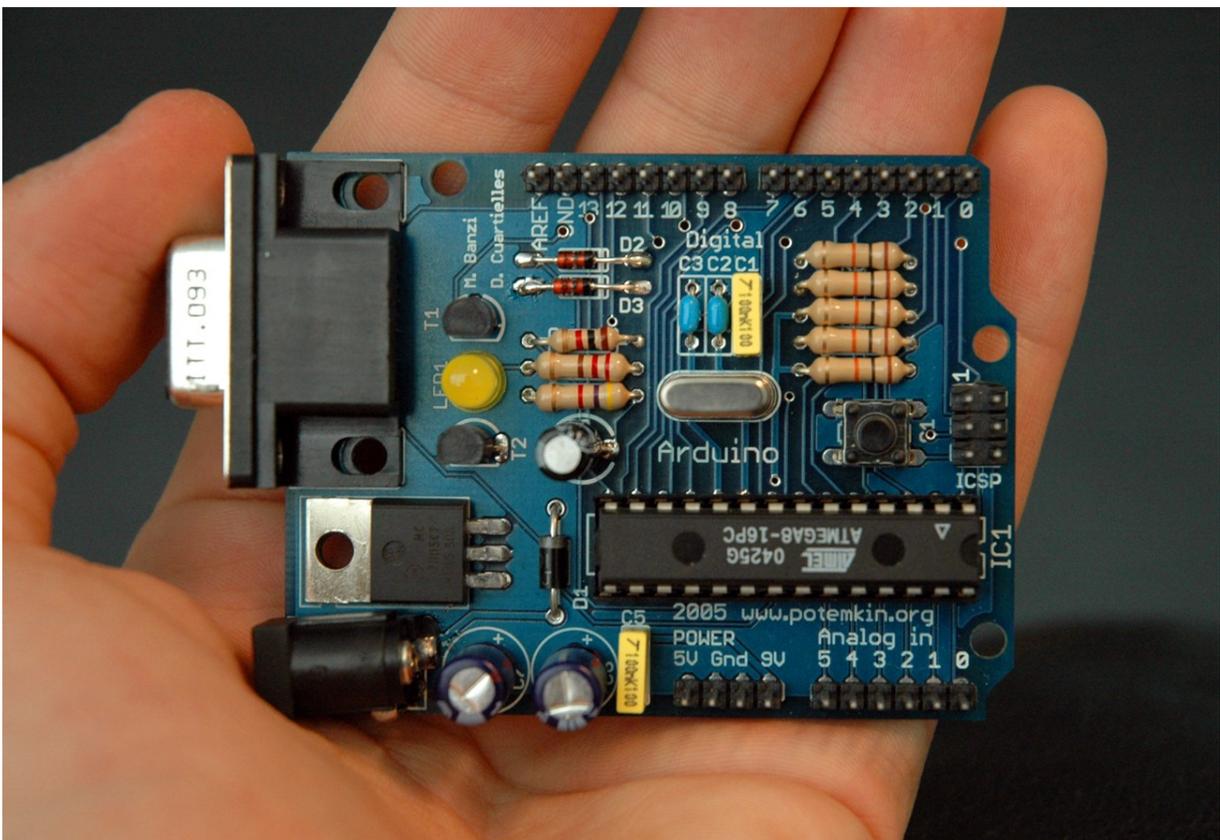


Figura 7: Exemplo de um microcontrolador Arduino.  
O Arduino é uma plataforma de código aberto que inclui tanto hardware quanto software.  
Fonte: (ARDUINO AG, 2016)

A plataforma Arduino (figura 7) tornou-se bastante popular entre os usuários com pouco conhecimento de eletrônica por vários motivos. Diferentemente da maioria dos circuitos programáveis existentes anteriormente, o Arduino não precisa de equipamentos adicionais para carregar o novo código na placa; basta simplesmente usar um cabo USB. Além disso, o sistema de programação do Arduino usa uma versão simplificada do C++, que é apesar de ser uma linguagem bastante potente possui uma longa curva de aprendizagem, o que torna mais fácil aprender a programá-lo.

Adicionalmente, o Arduino possui um formato que facilita o acesso às funções do microcontrolador de uma maneira prática e eficiente (figura 8) (SPARKFUN, 2016)

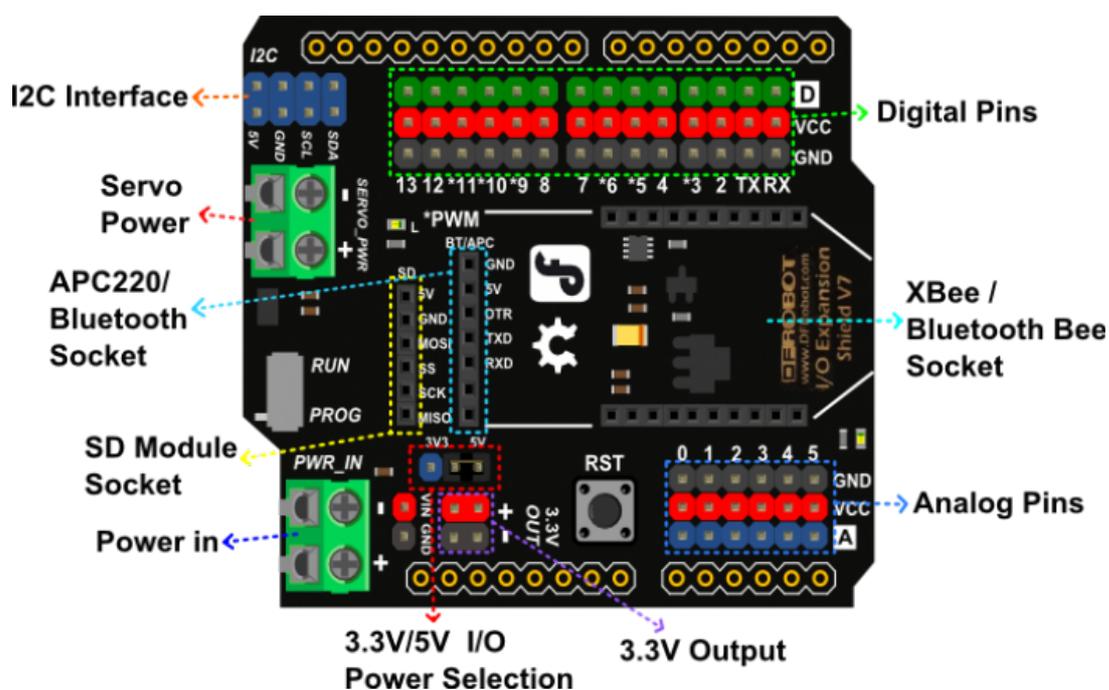


Figura 8: Esquema de conexões do Arduino Uno. Uma das maiores atrativos do Arduino é a facilidade para conexão com dispositivos externos. Fonte: (DFROBOT, 2016)

### 1.3.2 Conectando com o mundo real

O Arduino pode receber dados dos sensores (as entradas), processar internamente e executar comandos e atividades (as saídas), como por exemplo, ligar e desligar motores, resistências elétricas, etc.

Mas ele também pode ser conectado a computadores para possibilitar a visualização de dados e até comunicação com a internet (MOUJAHID, 2105)

A figura 9 mostra esquematicamente como funciona um sistema que possui uma parte física, ou hardware (Physical layer), um sistema de programação, ou software (Coordination layer) e um sistema de conexão à internet (Application Layer).

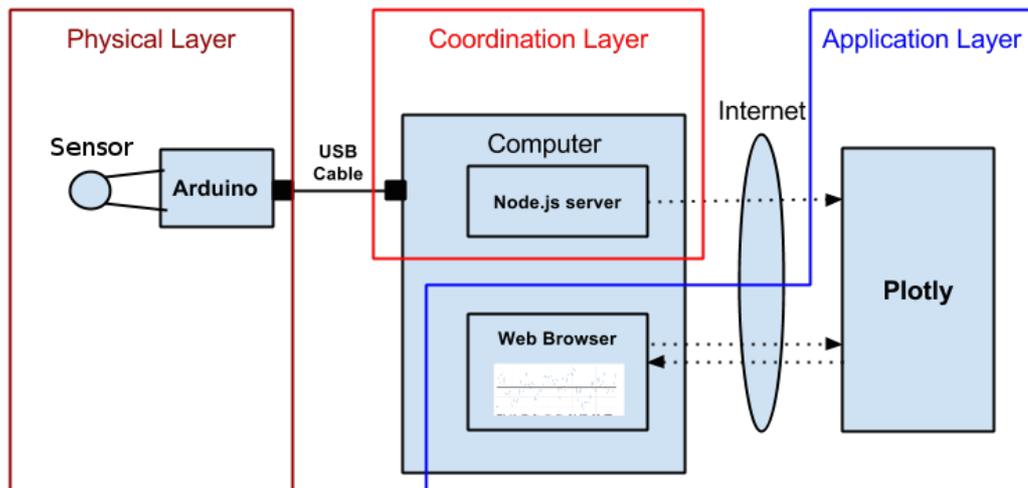


Figura 9: Arquitetura típica de uma aplicação com Arduino.

Com microcontroladores com o Arduino é possível criar aplicações que podem ser acessadas remotamente.

Fonte: (MOUJAHID, 2105)

Podemos imaginar as várias conexões de um sistema que usa arduino como:

- a camada física que captura os dados do sensor; exemplo: sensor de gás;
- uma camada de coordenação para receber os dados do sensor/arduino e enviá-los para a aplicação; exemplo: sistema “node.js”;
- uma camada de aplicação para visualizar em tempo real os dados recebidos: exemplo: “flot.js” e “Plotly”.

### 1.3.3 Monitoramento remoto

Conforme mostrado na Figura 9 é possível enviar os dados coletados nos experimentos para servidores na Internet e disponibilizar estes dados para acesso

remoto. Esta figura mostra um exemplo de 3 sensores de gases (MQ2, MQ3 e MQ135) monitorando um sistema de fermentação sendo acessado via internet.

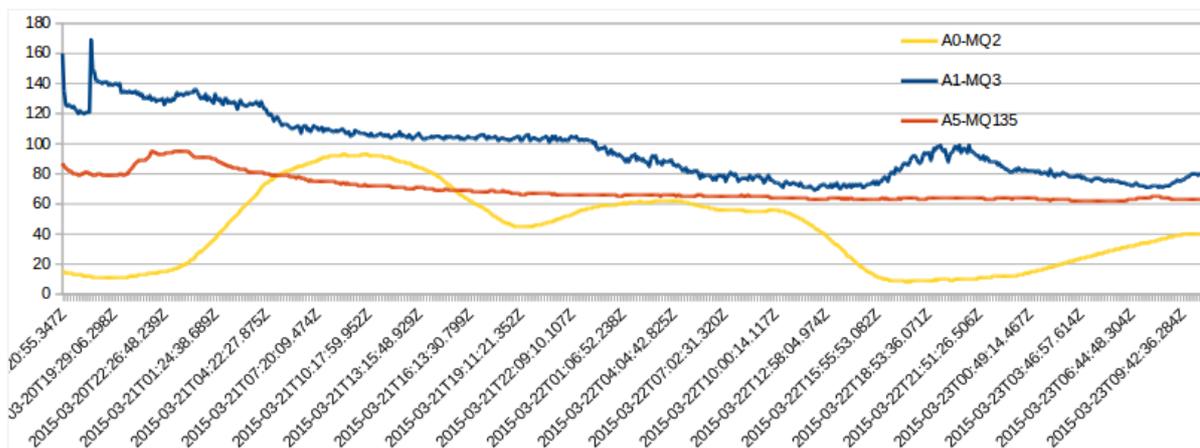


Figura 10: Exemplo de monitoramento remoto.

Neste exemplo, os dados obtidos por sensores de gases foram enviados remotamente e visualizados através de um navegador via internet.

## 1.4 SENSORES

Com apenas um programa simples, o Arduino pode controlar e interagir com uma grande variedade de sensores - dispositivos que podem medir a luz, a temperatura, peso, pressão, proximidade, aceleração, gases, radioatividade, umidade, pressão barométrica, entre outros.

A figura 12 mostra alguns destes sensores que podem ser encontrados facilmente à venda como sensores isolados (figura 12) ou como sensores já montados em um módulo configurado para ser conectado diretamente ao Arduino. Estes módulos formatam os sinais eletrônicos gerados pelo sensor para que possam ser lidos diretamente pelo Arduino, bem como usam conectores padronizados para se encaixarem nos conectores do Arduino (figura 11).



### 1.4.1 Precisão e Seletividade

Tanto os técnicos em empresas precisam garantir que seus produtos obedeçam à padrões de qualidade quanto cientistas em laboratórios precisam garantir que seus experimentos sejam executados com precisão. Resultados satisfatórios são conseguidos nos dois casos se os instrumentos de medida e de controle estejam dentro de padrões estabelecidos e conhecidos.

Quando falamos em medida e controle de produtos ou experimentos os seguinte conceitos são importantes:

- Exatidão
- Precisão
- Repetibilidade
- Reprodutibilidade
- Linearidade
- Estabilidade

**Exatidão** – é definido como a proximidade das medidas observadas e o valor aceito como a medida correta. A exatidão de um instrumento pode ser conhecida pelo processo de calibração, onde são feitas medidas de valores já conhecidos. Erros de calibração, variações ao longo do tempo e erros de leitura afetam a Exatidão.

**Precisão** – é definido como a capacidade do método de medida replicar um mesmo resultado. Repetibilidade, reprodutibilidade e linearidade são parâmetros que compõem a precisão e são fontes da variabilidade em um sistema de medidas.

**Repetibilidade** – é a capacidade de um instrumento fornecer respostas próximas quando se mede os mesmos parâmetros de entrada. Alguns parâmetros de entrada às vezes não depende do experimento em si, como por exemplo, temperatura e umidade do ambiente e mudança do operador do instrumento.

**Reprodutibilidade** – diz respeito a obter os mesmos resultados de medição de um experimento mudando o instrumento de medição ou o ambiente em que se encontra. Ao contrário da repetibilidade, para controlar a reprodutibilidade, é importante mudar o operador, calibração e ambiente mantendo o mesmo experimento.

**Linearidade** – refere-se à capacidade do instrumento fornecer medidas precisas ao longo de toda a faixa ou escala de operação do instrumento.

**Estabilidade** – se refere à capacidade do instrumento fornecer as mesmas medidas ao longo do tempo. Os fatores que afetam a estabilidade são principalmente o desgaste do instrumento mas também fatores externos como mudança de temperatura e umidade.

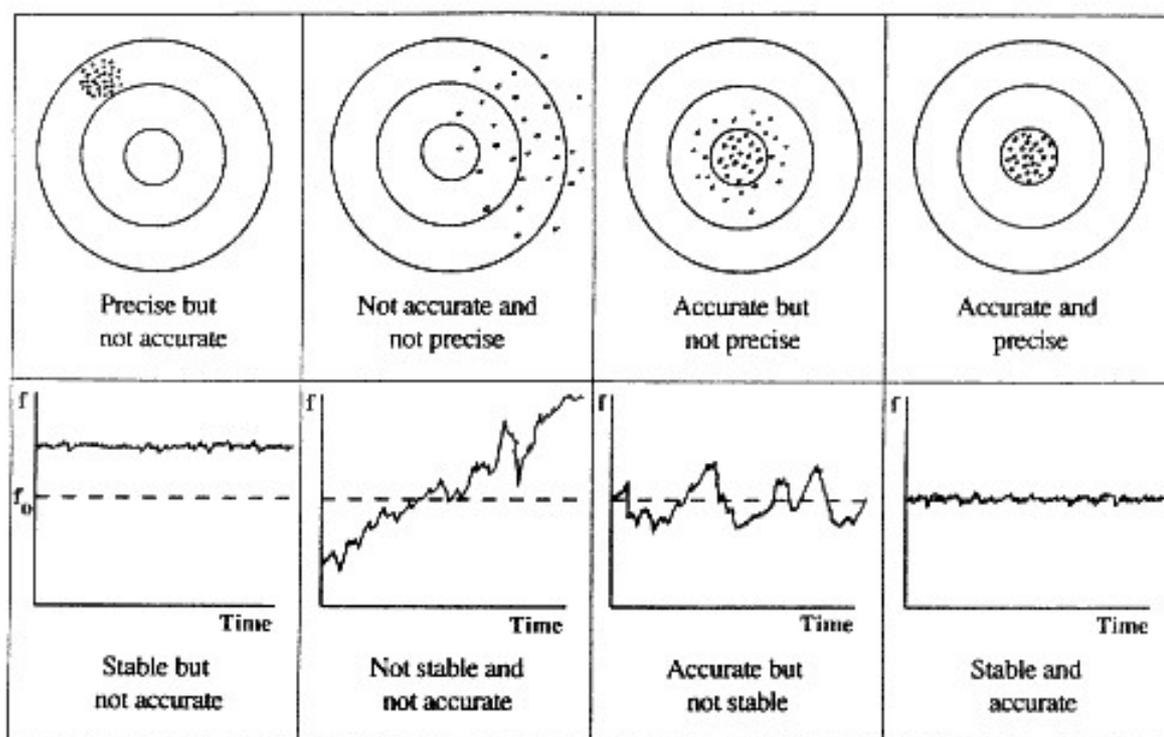


Figura 13: Fatores que influenciam a precisão de medições.

A correspondência entre os valores medidos e o valor real da grandeza sendo medida indica a precisão do instrumento de medição.

Fonte: (CQE, 2017)

## 1.5 SENSORES DE GÁS

A detecção de gás desempenha um papel importante, até mesmo essencial em muitas áreas, que vão desde a segurança alimentar até o monitoramento ambiental. Um dos exemplos mais conhecidos são alarmes de incêndio baseados na detecção CO. A medição quantitativa de gases baseia-se uma variedade de

princípios físicos ou químicos. Exemplos de sensores comercializados usam técnicas como espectrometria, luminescência e eletroquímica, como base de detecção (XIONG; COMPTON, 2014).

Entre as várias técnicas conhecidas, o método eletroquímico apresenta vantagens significativas sobre os outros. Um sensor de gás eletroquímico proporciona uma sensibilidade elevada a baixo custo. As suas dimensões compactas permitem uma alta portabilidade e apenas uma pequena quantidade de energia é requerida para fazer funcionar o detector. Por outro lado, a seletividade de sensores eletroquímicos é normalmente baixa (XIONG; COMPTON, 2014).

A qualidade de um sensor depende de quatro propriedades: seletividade, sensibilidade, tempo de resposta e tempo de vida.

A seletividade permite a detecção de um gás específico enquanto outros gases ou são filtrados fisicamente ou quimicamente.

Sensibilidade indica a dependência da corrente medida com a concentração de gás. Factores que influenciam a sensibilidade dependem do eletrodo em si mas também é influenciado pelo ambiente de detecção.

Os tempos de resposta também são de importância vital, já que o sensor precisa refletir o mais rápido possível as mudanças das concentrações dos gases. Isto é normalmente medido pelo tempo necessário para atingir 90% do estado estacionário da resposta (T90).

### 1.5.1 Sensor de CO<sub>2</sub>

Como exemplo de sensor de CO<sub>2</sub>, temos o MG-811 (figura 14), que possui um sistema interno de aquecimento do sensor e um circuito para condicionar e amplificar o sinal de saída. O MG-811 é altamente sensível ao CO<sub>2</sub> e pouco sensível a álcool e CO. Pode ser utilizado no controle de qualidade do ar, processos de fermentação e monitoramento do ar em espaços fechados. A tensão do módulo de saída cai à medida que a concentração de CO<sub>2</sub> aumenta (SANDBOX, 2106).



Figura 14: Exemplo de sensor de CO<sub>2</sub>.  
O sensor MG811 é um sensor destinado ao monitoramento do gás CO<sub>2</sub>.  
Fonte: (SANDBOX, 2106)

O sensor de MG-811 é, resumidamente, uma célula que fornece uma saída na faixa de 100-600 mV correspondendo de 400-10.000 ppm de CO<sub>2</sub>. A capacidade de fornecimento de corrente da célula é bastante limitado. A amplitude do sinal é tão baixo e a impedância de saída da célula é tão elevada que um circuito de condicionamento de sinal é necessária entre o sensor e a entrada ADC do microcontrolador (figura 15).

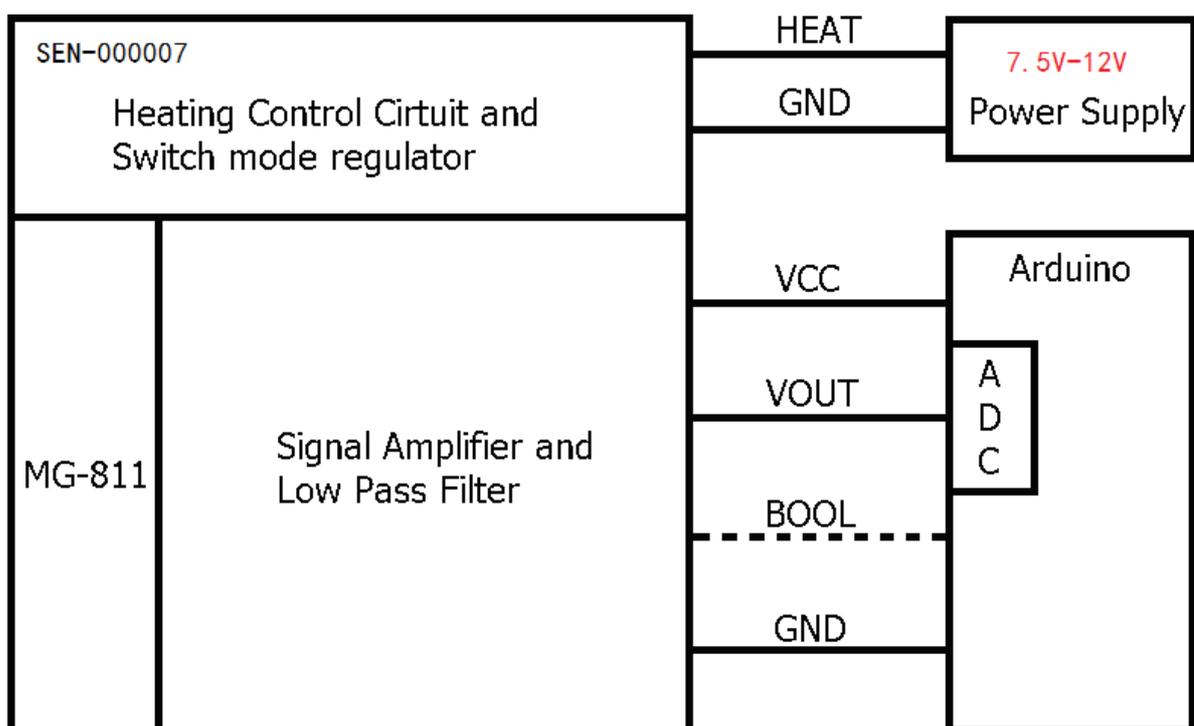


Figura 15: Esquemático de funcionamento do sensor MG811.

Este esquema mostra em detalhes como o sensor MG811 precisa de uma fonte de alimentação para seu aquecimento interno e também como o sinal gerado pelo sensor precisar ser amplificado antes de ser enviado ao microcontrolador.

Fonte: (SANDBOX, 2106)

Comercialmente, é comum encontrar os sensores já acoplados a circuitos que fazem este condicionamento para microcontroladores como o Arduino, denominados “módulos de sensores” (figura 16).

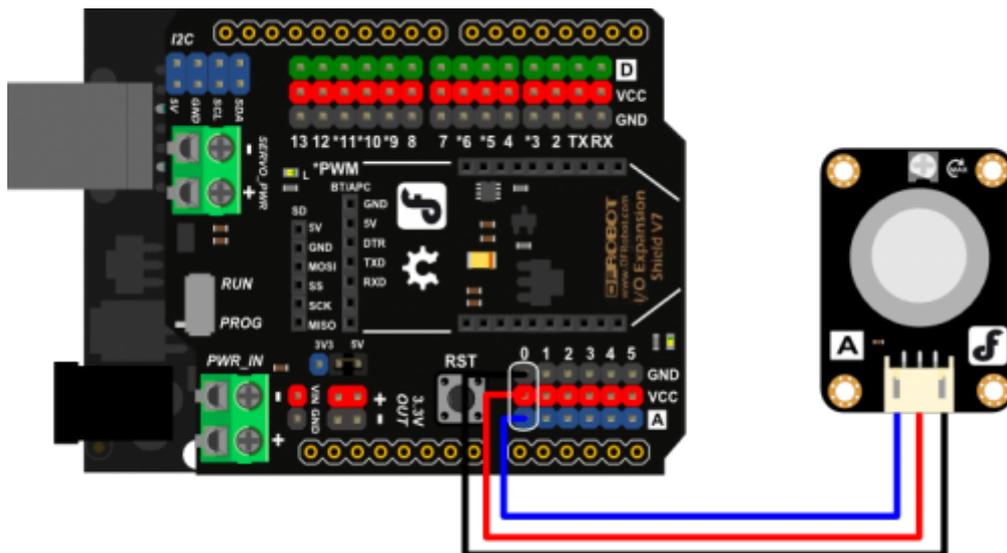


Figura 16: Exemplo de conexão do sensor de CO2.

Este esquema mostra um sensor já predisposto para ser conectado ao microcontrolador Arduino.

Fonte: (DFROBOT, 2016)

A tensão do sensor no ar limpo (tipicamente 400 ppm de CO<sub>2</sub>) de saída está compreendida no intervalo de 200mV-600mV, esta tensão de saída é definido como zero ponto de tensão ( $V_0$ ), que é a tensão da linha de base. A tensão de saída diminuirá à medida que aumenta a concentração de CO<sub>2</sub>. Quando a concentração de CO<sub>2</sub> é superior a 400 ppm, a tensão de saída ( $V_s$ ) é linear para o logaritmo da concentração de CO<sub>2</sub> ( $C_{CO_2}$ ):

$$V_s = V_0 + \Delta V_s / (\log_{10} 400 - \log_{10} 1000) * (\log_{10} C_{CO_2} - \log_{10} 400) \quad (2)$$

Onde:

$$\Delta V_s = \text{sensor @ 400ppm} - \text{sensor @ 1000ppm}$$

Fonte: dados do fabricante

O gráfico da Figura 17 mostra um exemplo da variação da tensão de saída no sensor e sua relação com a concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente medido.

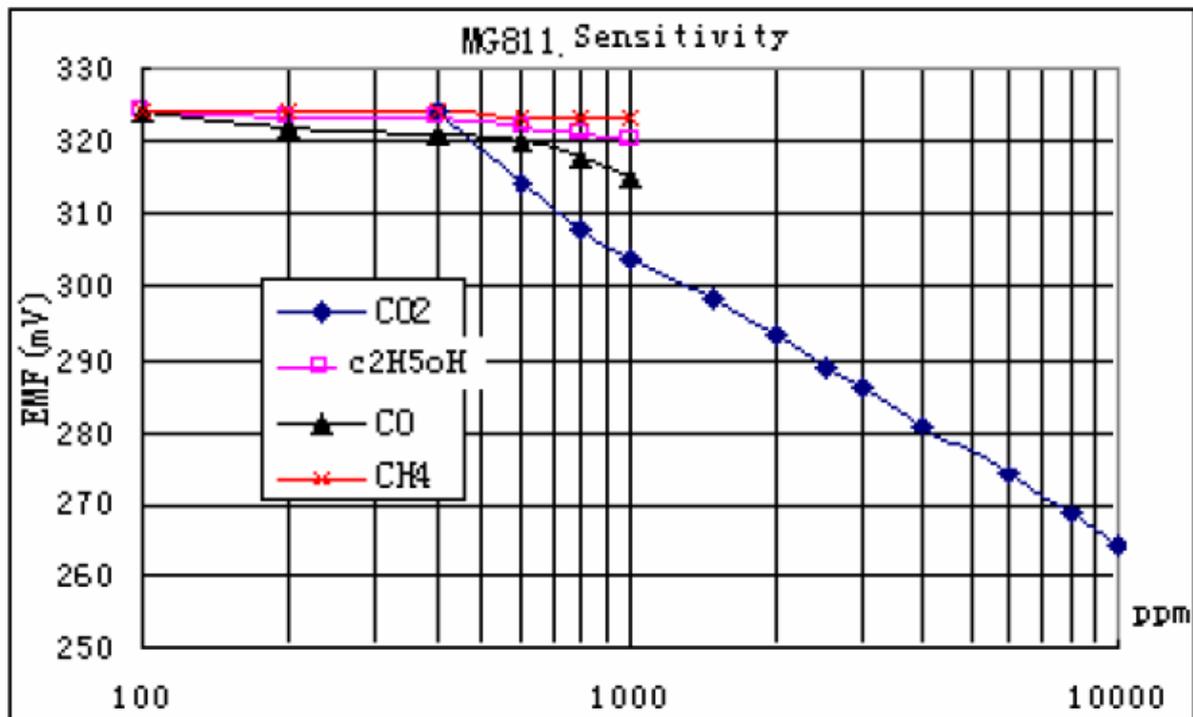


Figura 17: Sensibilidade do MG-811.

O sensor MG811 é sensível a vários gases, como Metano, CO e Etanol e principalmente CO<sub>2</sub>,  
Fonte : (OLIMEX, 2106)

Observa-se no mesmo gráfico que este sensor também é sensível a Etanol, Monóxido de Carbono e Metano. Portanto, ele não deve ser usado com identificar de um destes gases mas pode ser perfeitamente usado em experimentos onde já se sabe que o CO<sub>2</sub> será um dos principais gases e o objetivo é a sua quantificação e não sua identificação.

### 1.5.2 Sensor de Cores

Outro sensor que será utilizado no monitoramento dos processos de produção de cerveja é o sensor de cores. A base do módulo deste sensor de cor é o TCS230 (figura 18) que é um conversor programável de luz para frequência; ele filtra os valores RGB (Red-Vermelho, Green-Verde e Blue-Azul) de luz fonte e

converte-os para uma onda quadrada (50% ciclo de trabalho) com frequência diretamente proporcional à intensidade da luz (irradiância) (TAOS, 2004).



Figura 18: Sensor de cores RGB.  
Este sensor possui LED's que ajudam a iluminar e padronizar a luz na superfície a ser medida.  
Fonte: (TAOS, 2004)

Este módulo pode ser utilizada para detectar a cor da fonte luminosa ou da cor dos objetos. Quando utilizada para detectar a cor da fonte de luz, o interruptor dos LEDs do módulo deve ser desligados, e a fonte de luz deve iluminar o sensor diretamente. Quando usado para detectar a cor de objetos, os LEDs deve estar ligados e deve-se colocar o objeto em contato com o invólucro do sensor.

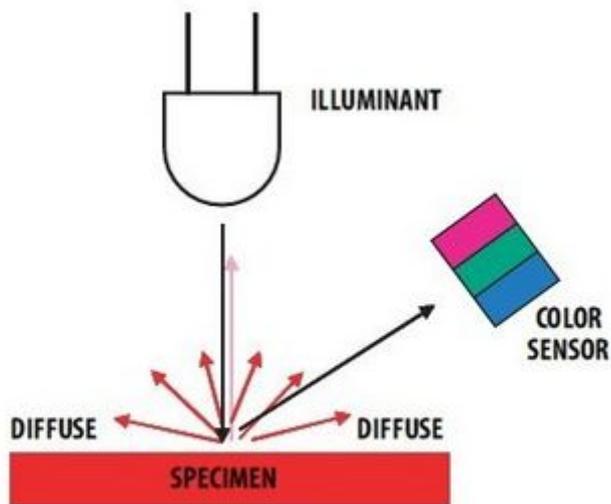


Figura 19: Esquema do Sensor de cores RGB.

A superfície com a cor a ser medida deve ser iluminada de forma padronizada e o sensor analisa os valores RGB da luz refletida.

Fonte : (TAOS, 2004)

## 1.6 RECONHECIMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS

Outra área que teve grandes avanços tecnológicos e grande redução de custos foi a Análise de Imagens por Computador, ou “Computer Vision”.

A análise e reconhecimento de imagens é um campo em rápido crescimento dedicado a analisar, modificar e reconhecer imagens digitalizadas. Seu objetivo é determinar o que está acontecendo na frente de uma câmera e usar esse entendimento para controlar um sistema de computador ou robótico, ou para proporcionar às pessoas com novas imagens que são mais informativas ou esteticamente agradável do que as imagens da câmera originais (PULLI et al., 2012)

Atualmente, a análise de imagens por computador pode ser feita a baixíssimo custo, considerando que a maioria dos computadores pessoais, especialmente os notebooks, já possuem uma câmera integrada e as linguagens de programação como o JavaScripts já estão disponíveis nos navegadores de internet já instalados no computador.

Um exemplo destes sistemas é o TrackingJS, sistema que interpreta imagens e vídeos das câmeras dos notebooks e interpreta, cores, formas e movimentos (LUNDGREN, 2106).

## 2 DESENVOLVIMENTO

Do ponto de vista comercial e industrial é importante monitorar o maior número de parâmetros do processo de produção de cerveja para manter um padrão de qualidade e consistência sensorial do produto final (BOKULICH; BAMFORTH, 2013).

Do mesmo modo, do ponto de vista científico, é importante monitorar o maior número de parâmetros de experimento, para poder associar mudanças no resultado final do experimento aos parâmetros do experimento que foram modificados.

O processo de produção de cerveja é um processo interessante para ser utilizado como base para este estudo pois, além do processo ser conhecido por muito tempo, vários institutos, como o EBC European Brewery Convention, já padronizaram a sua produção e catalogaram os principais parâmetros de suas etapas (W. HAGEN, 2000).

Em seguida listamos os experimentos que foram feitos com alguns parâmetros da produção de cerveja. O objetivo não foi monitorar exhaustivamente o processo de fermentação mas sim demonstrar a viabilidade técnica de monitorar a baixo custo alguns dos parâmetros mais importantes do processo de fermentação.

### 2.1 MONITORAMENTO DE COR

Além da cor final da cerveja produzida, existem duas etapas da produção de cerveja que podem se beneficiar do monitoramento de cores: o teste do Amido e o teste do Inóculo

#### 2.1.1 O teste do Iodo

A sacarificação do amido um dos processos mais importantes na produção da cerveja. O amido contido no malte é um açúcar complexo, de estrutura grande, e a levedura não é capaz de consumi-lo durante o processo de fermentação. Por este motivo, é necessário que ele seja quebrado em unidades menores antes do processo de fermentação. Este trabalho é realizado pelas enzimas durante a

mostura, que quebram o amido em açúcares menores (processo chamado de sacarificação do amido).

Ao final da mosturação deve-se obter uma conversão total do amido em açúcares menores. O teste prático para saber se esta conversão ocorreu ao fim da mostura é o teste de iodo. Este teste pode ser feito adicionando-se, em um recipiente, algumas gotas do mosto e gotas de iodo. O iodo reage com o amido formando um complexo de coloração azul escuro. Logo, se ao final da mostura e realização do teste o resultado for um complexo de coloração azul escuro, teremos a certeza que não houve uma total conversão do amido. Quanto maior a quantidade de açúcares de cadeia pequena, maior a quantidade de alimento para a levedura e maior será a produção de álcool (SIQUEIRA; BOLINI; MACEDO, 2008).

### 2.1.2 - O teste do Alamar Blue ou Resazurina

Uma inoculação insuficiente de leveduras poderá ocasionar um retardo muito grande para o início da fermentação, aumentando assim, a competição pelo mosto por bactérias e leveduras selvagens, risco de uma alta formação de ésteres frutados, acetaldeído e diacetil (RAMBERSAD, 2012).



Figura 20: Exemplo de teste com AlamarBlue.

O AlamarBlue faz com a cor do meio mude de rosa para azul de acordo com a presença de células viáveis ou não.

Fonte: (MDPI.com)

O teste Alamar Blue tem sido utilizado com sucesso nos últimos décadas para indicar a viabilidade celular e citotoxicidade em várias aplicações biológicas e

sistemas ambientais e funciona com um grande tipo de células incluindo bactérias, leveduras, fungos, protozoários e cultura de tecidos (RAMPERSAD, 2012).

O teste do Alamar Blue mede quantitativamente a proliferação de células de mamíferos, bactérias e fungos. O corante incorpora um indicador de oxidação-redução (redox), que tanto a cor fluorescente e muda de cor em resposta à redução química do meio de crescimento, resultante do crescimento celular.

O corante Alamar Blue em sua forma oxidada é azul e não fluorescente. No ensaio as células em crescimento produzem uma redução química do corante de azul não-fluorescente para vermelho fluorescente. O crescimento continuado de células viáveis mantém o ambiente redutor (fluorescente, vermelho) e inibição do crescimento mantém um ambiente oxidada (não fluorescente azul), o que pode ser detectado utilizando um detector de fluorescência ou absorvância ou sensor de cor.

### 2.1.3 A cor final da Cerveja

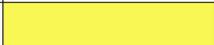
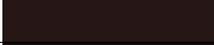
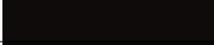
A cor final da cerveja é um dos principais parâmetros do ponto de vista sensorial do consumidor (ALMONACID et al., 2012).

O Standard Reference Method ou SRM é um sistema que os produtores de cerveja usam para medir a intensidade da cor de uma cerveja ou mosto. O método envolve a utilização de um espectrofotômetro ou simplesmente fotômetro para medir a atenuação da luz de um determinado comprimento de onda, como por exemplo 430 nm, à medida que passa através de uma amostra contida numa cuvete localizado no caminho da luz do instrumento.

A convenção EBC (European Brewing Convention) também especifica além da cor do mosto e da cerveja, a quantificação de turbidez na cerveja.

Um comparativo entre as convenções SRM e EBC, bem como exemplos das cervejas mais comuns, pode ser visto na tabela 1.

TABELA 1: TABELA DE CORES DE CERVEJA

| <b>SRM</b> | <b>Example</b>                                 | <b>Beer color</b>   | <b>EBC</b> |
|------------|--|---|------------|
| 2          | Pale lager, Witbier, Pilsener, Berliner Weisse |  | 4          |
| 3          | Maibock, Blonde Ale                            |  | 6          |
| 4          | Weissbier                                      |  | 8          |
| 6          | American Pale Ale, India Pale Ale              |  | 12         |
| 8          | Weissbier, Saison                              |  | 16         |
| 10         | English Bitter, ESB                            |  | 20         |
| 13         | Biere de Garde, Double IPA                     |  | 26         |
| 17         | Dark lager, Vienna lager, Marzen, Amber Ale    |  | 33         |
| 20         | Brown Ale, Bock, Dunkel, Dunkelweizen          |  | 39         |
| 24         | Irish Dry Stout, Doppelbock, Porter            |  | 47         |
| 29         | Stout  |  | 57         |
| 35         | Foreign Stout, Baltic Porter                   |  | 69         |
| 40+        | Imperial Stout                                 |  | 79         |

Fonte: (W. HAGEN, 2000)

## 2.1.4 Experimentação

### 2.1.4.1 Análise de cor

Para a identificação da cor de amostra foi montado um experimento (figura 21) composto por um Arduino e um sensor de cor conectados a um computador que recebe os dados do sensor de cor e compara com a tabela de cores EBC (tabela 1).



Figura 21: Exemplo de identificação da cor final da cerveja. A amostra é colocada em frente ao sensor e o sistema compara a cor medida com a tabela de cores padronizadas.



Figura 22: Exemplo de sistema para identificar cores.  
O valor lido pelo sensor é comparado com a tabela de cores padronizadas.

A cor das cervejas produzidas durante os experimentos foi medida em 6 amostras (figura 23) e comparadas com a tabela EBC de cores.



Figura 23: Amostras de cerveja  
Lote com as amostras de cerveja que foram produzidas durante os experimentos



Figura 24: Resultado do sistema de identificação de cor.  
O valor lido pelo sensor de cor é comparado com a tabela de cores de cerveja EBC.

Os valores da cores medidas nas amostras foram: (16,56,47), (15,55,53), (16,58,51), (14,79,57), (15,86,58) e (14,85,61) para as amostras de 1 a 6 respectivamente.

Para efeito de comparação dos valores medidos das amostras, foi plotado o valor HSL da cor. Na figura 25 podemos ver do lado esquerdo a plotagem do valor

HSL de uma das amostras e do lado direito a plotagem dos valores HSL das 6 amostras.

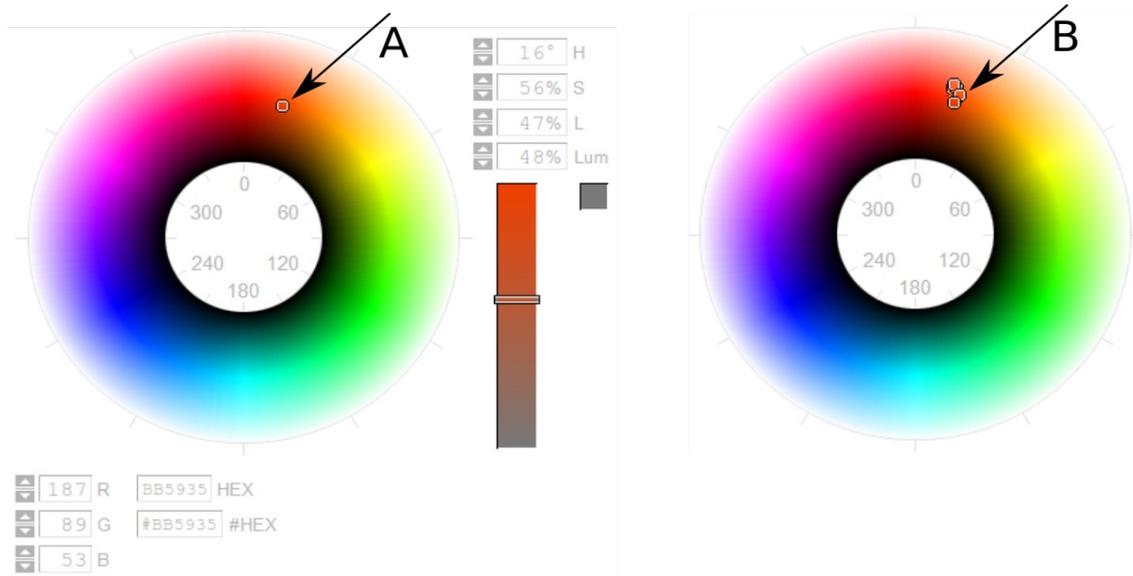


Figura 25: Comparação das cores das amostras

O valores da cores das amostras foram comparados convertendo para o formato HSL. A seta A mostra a identificação da cor de uma das amostras e a seta B mostra a identificação das seis amostras.

Fonte: dados do autor

#### 2.1.4.2 Monitoramento do inóculo

Para os experimentos foram usados insumos comercialmente disponíveis para produtores de cervejas artesanais. Estes foram adquiridos na Casa OLEC, situada na Rua Raimundo Correa, 210, São Pedro, em Belo Horizonte, MG.

A levedura utilizada foi Levedura ALE Nottingham da marca Lallemand, pacote de 11g produzido na Áustria.

Na produção de cerveja, geralmente não se testa a levedura, ou inóculo, pois assume-se que a levedura comercial funcionará na grande maioria dos casos. Resolvemos incluir o teste do inóculo considerando que o objetivo deste trabalho é sua extrapolação para outros processos de fermentação, que poderão ter na produção do inóculo sua parte crítica.

Além disso, em experimentos onde é estudada a influência da alteração de um parâmetro sobre o resultado final, os outros parâmetros devem permanecer inalterados. O monitoramento e parametrização da viabilidade do inóculo pode então

ser usado para poder fazer comparações entre experimentos (ALMONACID et al., 2012)

Para o monitoramento da viabilidade do inóculo foi montado um experimento composto por um computador notebook com câmera integrada e um suporte adaptado para receber uma placa de cultura, como visto na figura 26.

A placa de cultura (figura Error: Reference source not found) fica posicionada acima da câmara do notebook.

O programa desenvolvido em Javascript e usando a biblioteca de reconhecimento de imagens TrackingJS, analisa as áreas onde os inóculos foram colocados e identifica a cor dos mesmos.

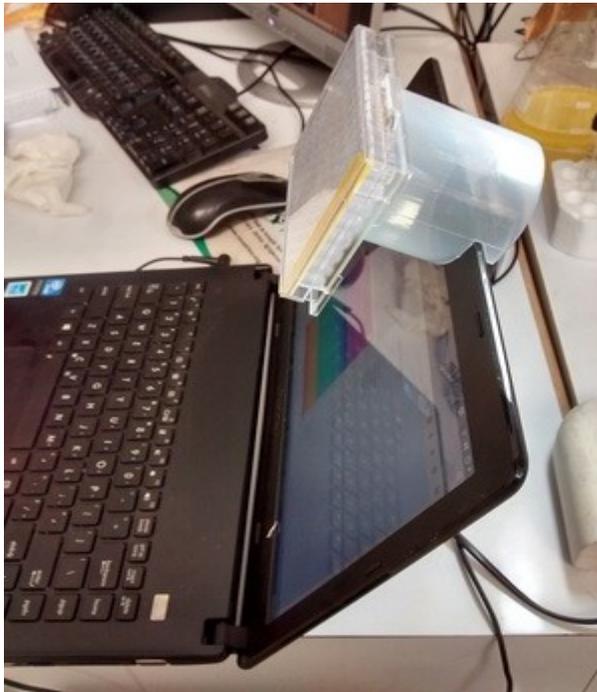


Figura 26: Montagem para leitura via câmera  
A imagem mostra uma montagem de um notebook e do suporte da placa com as amostras a serem medidas.

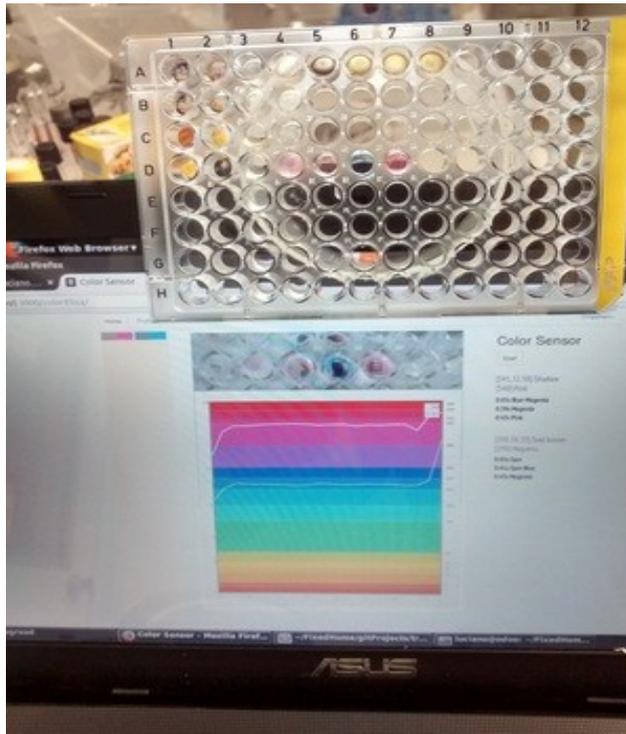


Figura 27: Vista da placa de cultura.  
Esta imagem mostra a placa de cultura e o gráfico gerado com a leitura das cores das amostras.

Proporcionalmente à viabilidade do inóculo, as amostras passam da cor Rosa pra Azul e da cor Marrom para Marrom-escuro, se usado o AlamarBlue ou Iodo, respectivamente (figura 28).

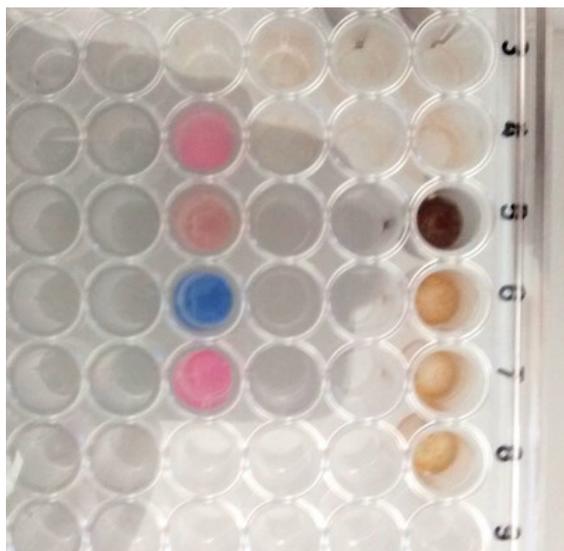


Figura 28: Exemplo de uso do alamar blue e Iodo.  
Esta imagem mostra detalhe das variações de cores das amostras usadas nos experimentos.

O sistema então identifica e traça um gráfico indicando a mudança de cor ao longo do tempo (figura 29).

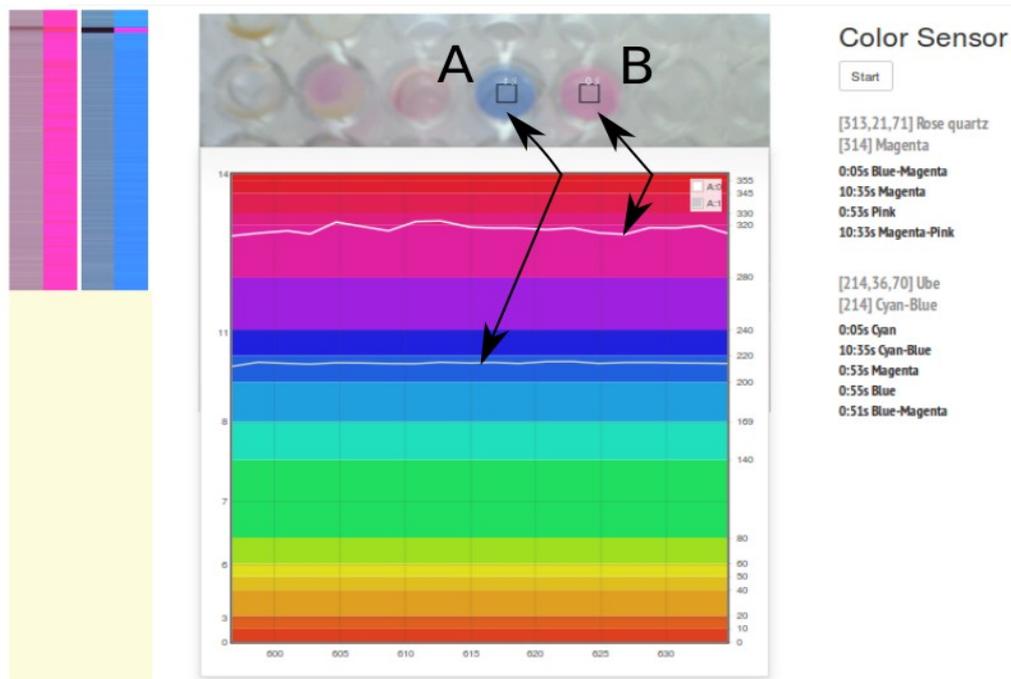


Figura 29: Sistema para identificar cores  
A imagem mostra as amostras A e B e as respectivas linhas de identificação de suas cores.

### 2.1.5 Conclusão do experimento

O sistema desenvolvido se mostrou eficaz para o monitoramento e identificação de cores nos processos relacionados à produção de cerveja artesanal. A faixa de valores obtidos na leitura da cor final de cerveja está dentro dos limites da tabela EBC de cores padronizadas e o monitoramento por computador das mudanças das cores da amostra dos inóculos demonstrou ser prático, pois elimina a subjetividade no acompanhamento das variações de cores das amostras.

## 2.2 MONITORAMENTO DA FERMENTAÇÃO

### 2.2.1 Monitoramento de CO<sub>2</sub>

#### 2.2.1.1 Calibração dos sensores

A calibração do sistema de leitura de CO<sub>2</sub> foi realizada com a utilização de um equipamento comercial, uma incubadora (figura 30) utilizada em técnicas de cultura de células instalada no laboratório de biologia da UFMG. Nesse sistema existe um cilindro de CO<sub>2</sub> (figura 31) acoplado a incubadora que permite manter em níveis constantes a porcentagem de CO<sub>2</sub> no seu interior.



Figura 30: Incubadora de CO<sub>2</sub>.  
Exemplo de um câmara de incubação onde é possível manter constante o nível de CO<sub>2</sub>.  
Fonte: Catálogo do fabricante Thermofischer



Figura 31: Cilindro comercial de CO<sub>2</sub>.  
Cilindro de fornecimento de CO<sub>2</sub> para a câmara de incubação.  
Fonte: foto do autor

A porcentagem de CO<sub>2</sub> foi alterada de 5% até o máximo de 20% (porcentagem máxima permitida pelo sistema da incubadora). Cada ponto utilizado na calibração (5%, 10%, 15%, e 20%) permaneceu fixo por um tempo de 5 minutos. O sistema desenvolvido foi mantido dentro da incubadora e as leituras registradas em um notebook e alguns parâmetros (Tabela 2) puderam ser alterados, configurando o leitor do sensor de acordo com os valores de CO<sub>2</sub> da incubadora.

Estes parâmetros são fornecidos pelo fabricante dos sensores (SANDBOX, 2106)

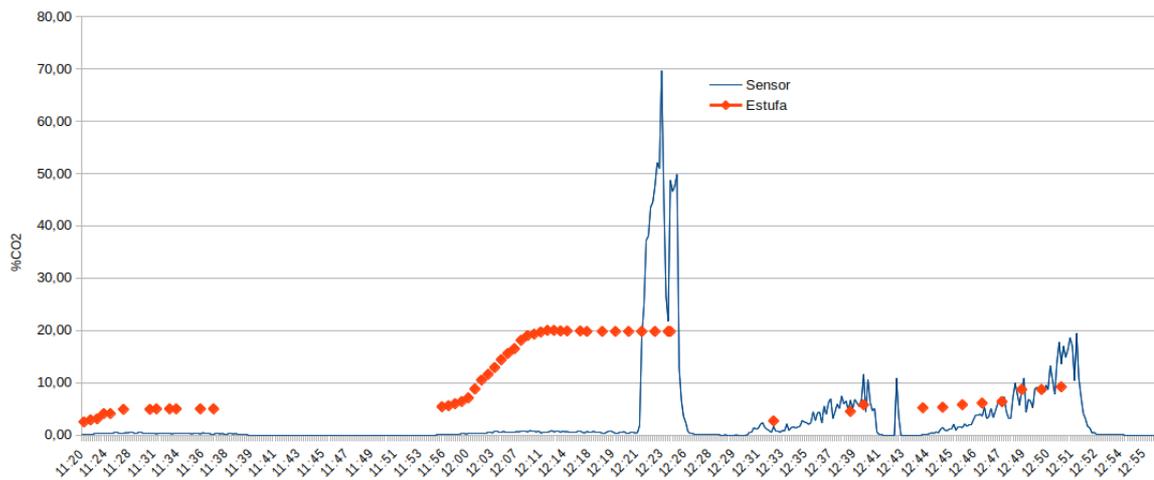


Figura 32: Calibração do Sensor de CO2

A estufa foi ajustada para valores de 5% e 20% de CO2 enquanto os parâmetros do sensor eram ajustados para corresponder aos valores indicados.

Tabela 2: Parâmetros do Sensor de CO2

|                          |      |
|--------------------------|------|
| MG811_DC_GAIN            | 10   |
| MG811_ZERO_POINT_VOLTAGE | 0,22 |
| MG811_REACTION_VOLTAGE   | 0,02 |
| MQ811_RL_VALUE           | 20   |

Recomenda-se efetuar uma calibração mais precisa mas os resultados iniciais observados correspondem à literatura (ABRAHAM; LI, 2014).

Para monitorar um processo de fermentação escolhemos a fermentação de cerveja por ser um processo já conhecido e comum. Como receita escolhemos uma cerveja do tipo Pale Ale, fornecida pela Casa OLEC. A receita original é para uma produção de 20L e adaptamos as proporções para fazer bateladas de 0,5L.

TABELA 3: CERVEJA TIPO PALE ALE

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| Tipo                    | Somente grãos |
| Batelada                | 20L           |
| Volume de fervura       | 24,14L        |
| Tempo de fervura        | 60min         |
| Volume final da fervura | 21,84L        |

|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| Volume final                       | 19,00L       |
| Teor alcoólico estimado por volume | 5,0%         |
| Amargor                            | 27,9 IBU     |
| Cor estimada                       | 13,4 EBC     |
| Calorias                           | 427,1 kcal/l |

TABELA 4: RECEITA PALE ALE DA CASA OLEC

| Qtde.   | Descrição  | Tipo     | # | IBU      |
|---------|--|----------|---|----------|
| 4,00 kg | Malte Pilsner (Weyemann)(3,3EBC)                     | Grão     | 1 | 88,9%    |
| 0,25 kg | Malte Caramunich II (Weyeman)(124,1 EBC)             | Grão     | 2 | 5,6%     |
| 0,25 kg | Carapils (Weyemann (3,9 EBC)                         | Grão     | 3 | 5,6%     |
| 5,00g   | Columbus/Tomahawk/Zeus (CTZ)[15,5%]<br>Fervura 60min | - Lúpulo | 4 | 9,9 IBU  |
| 10,00g  | Columbus/Tomahawk/Zeus (CTZ)[15,5%]<br>Fervura 20min | - Lúpulo | 5 | 12,0 IBU |
| 15,0g   | Columbus/Tomahawk/Zeus (CTZ)[15,5%]<br>Fervura 5min  | - Lúpulo | 6 | 5,9 IBU  |
| 1 pcte  | Notingham Yeast (Lallemand) [23,66 ml]               | Levedura | 7 | -        |
|         |  |          |   |          |

## 2.2.2 Preparação do Extrato de Malte

Os ingredientes foram comprados na Casa OLEC.



Figura 33: Levedura e Lúpulo.

Insumos que foram usados na preparação dos experimentos: Levedura Ale e Lúpulo Columbus.



Figura 34: Variedades de Maltes

Variedades dos maltes que foram usados nos experimentos.

20L de água foram colocados em uma panela industrial de alumínio de 25L. Colocamos em um fogão industrial a gás e elevamos a temperatura para 60°C e em seguida acrescentamos 4,5k de Malte Pilsen, 250g de Malte Caramunich Tipo II e 250g de Malte CaraPils.

Controlando a temperatura com um termômetro colocado dentro da panela, deixamos em agitação manual lenta durante 1 hora.

Em seguida, filtramos o malte com peneiras de plástico para separar os restos do Malte do extrato do Malte resultando em 13L de extrato de malte.

A receita original previam 20L de extrato em contraste com os 13L que obtivemos. Provavelmente, isto ocorreu pelo inadequado controle de temperatura feito com um pequeno termômetro para uma panela de 25L e pela cobertura parcial da panela para permitir a agitação manual. Seriam necessários 7L litros para completar esta diferença. Optamos por completar esta diferença na hora da fermentação para facilitar a armazenagem do extrato. Proporcionalmente, para cada frasco de 500ml seria necessário completar com 175,2ml de água.

Armazenamos o extrato em 16 frascos de 500ml (total de 7,946 kg) e mais um Erlenmeyer com 5,046 kg, fazendo um total de 12,992 kg de extrato.

### 2.2.3 Preparação da Fermentação

A fermentação foi feita em pequenos lotes usando Erlenmeyer de 1L para que possam ser feitas variações nos procedimentos e verificar mudanças no monitoramento.

Para estimar a quantidade de água que vai evaporar durante o ciclo de fervura, colocamos 500ml de água para ferver no mesmo recipiente e constatamos que a água gastou 45 min para evaporar completamente.

Em um Erlenmeyer de 1L colocamos:

- + 0.325ml de extrato de malte
- + 0.175 de água (para compensar a preparação do extrato)
- + 400ml de água (para compensar a evaporação)
- =900ml

Fervemos seguindo a receita por 60 min, resultando em um peso líquido final de 748 g.

Seguindo a receita da Casa OLEC, adicionamos os lúpulos nas seguintes proporções e nos seguintes tempos:

- T0 : 5g/20L -> 0.125g/0.5L
- T40 : 10g/20L -> 0.250g/0.5L
- T55 : 15g/20L -> 0.375g/0.5L

### 2.2.4 Preparação do inóculo

Em uma produção comum de cerveja, a levedura é adicionada diretamente ao processo. Optamos por diluir a levedura em água destilada para testar a viabilidade com AlamarBlue, visando uma futura adaptação dos procedimento deste projeto para outros tipos de fermentação de outros processos biotecnológicos.

O inóculo foi então preparado diluindo o pacote de levedura de 11g em 1000ml de água destilada.

A figura 35 mostra o inóculo preparado para armazenamento.

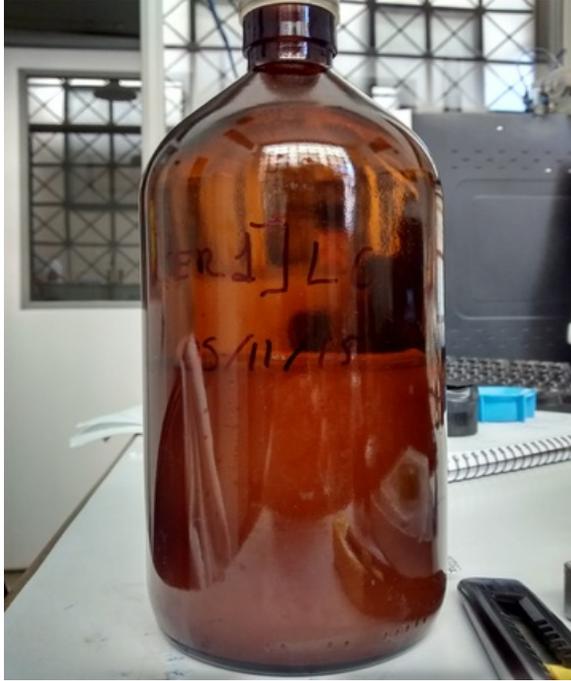


Figura 35: Armazenamento do inóculo

Os inóculos forma preparados e armazenados em frascos de vidros e mantidos sob refrigeração.

### 2.2.5 Preparação dos experimentos

O mosto resultante após a fervura e adição do lúpulo foi deixado para resfriar até atingir a temperatura ambiente.

Em seguida adicionamos 45ml do inóculo em uma câmara de fluxo laminar para evitar contaminação e preservação do inóculo.

Na produção de cerveja artesanal, é comum o uso de Airlocks (figura 36), um dispositivo que é acoplado, usualmente, na tampa do fermentador para impedir a entrar de ar do ambiente para dentro do fermentador (evitando contaminação) mas que permite a saída dos gases da fermentação (como o CO<sub>2</sub>) do fermentador para o meio externo.



Figura 36: Airlock  
Exemplo de dispositivo usado para impedir a entrada de ar no fermentador (Airlock)

Para os nossos experimentos o mosto foi colocado em um Kitasato (figura 37) tampado com papel-alumínio e papel Kraft na parte superior e a saída lateral foi conectada a um tubo de silicone.



Figura 37: Frasco com mosto  
A imagem mostra o mosto em um Kitasato com sua saída conectada a um tubo de silicone para capturar o CO<sub>2</sub> durante a fermentação.

O tubo de silicone foi conectado à entrada do sensor de CO<sub>2</sub>, conforme figura 38.

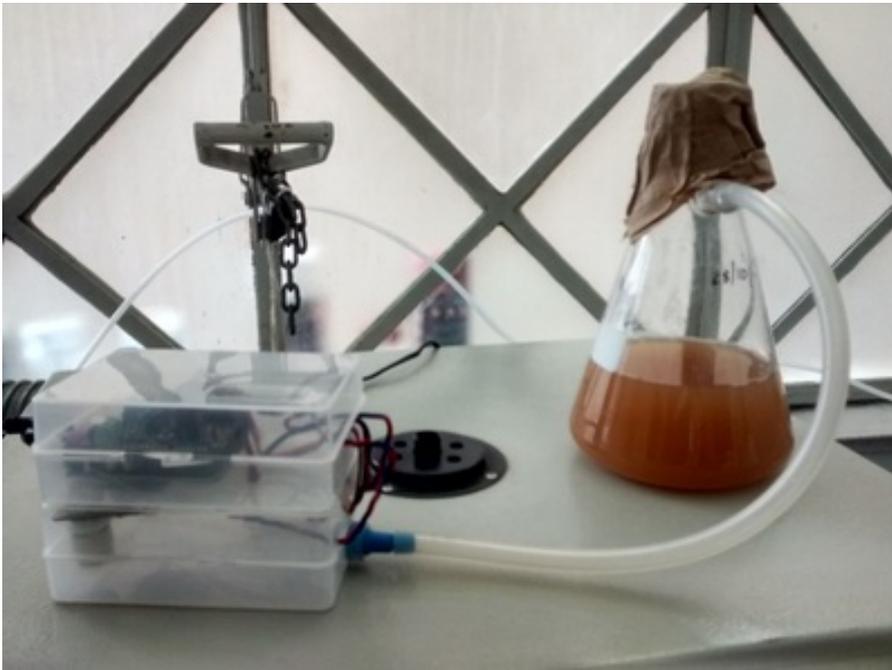


Figura 38: Conexão dos sensores

A imagem mostra o frasco com o mosto conectado ao sistema de monitoramento pelo tubo de silicone.

Para os experimentos onde haverá aquecimento, o mosto foi colocado em um sistema de aquecimento elétrico, como mostrado na figura 39.



Figura 39: Sistema de aquecimento  
Durante os experimentos foram utilizados sistemas para manter a temperatura constante, como este sistema de aquecimento elétrico.

Para os experimentos onde haverá resfriamento, todo o conjunto do kitasato e o sensor de CO<sub>2</sub> foram colocados dentro de um refrigerador doméstico, conectado externamente a um notebook (figura 40)



Figura 40: Sistema de resfriamento

A imagem mostra o refrigerador usado para manter a temperatura ambiente controlada durante a fermentação.

A figura 41 mostra o conjunto Kitasato, sensor de CO<sub>2</sub> em um aparelho de banho-maria dentro do refrigerador, permitindo efetuar experimentos com controle de temperatura do ambiente e controle de temperatura da fermentação.



Figura 41: Sistema com banho-maria  
A temperatura do frasco da fermentação foi controlada por banho-maria e a temperatura ambiente controlado pelo refrigerador.

Como teste inicial, foi feita uma fermentação padrão, conectando a saída do fermentador a diversos sensores e gerando um gráfico com as saídas analógicas destes sensores sem processamento adicional, ou seja, tensão variando de 0 a 1024, e um gráfico da saída do sensor de CO<sub>2</sub> MG-811 já processado.

Os sensores usados neste experimento foram:

- MG811 – sensor de CO<sub>2</sub>;
- MQ2 – sensor de Metano;
- MQ3 – sensor de Etanol;
- DHT-22 – sensor de temperatura e humidade

O sensor de CO<sub>2</sub> MG811 é um sensor do tipo eletroquímico com eletrodo sólido. Quando o sensor é exposto a CO<sub>2</sub>, reações químicas ocorrem no eletrodo produzindo uma corrente. A faixa de concentração de CO<sub>2</sub> que ele pode detectar é

de 350 a 10.000ppm e a voltagem de saída é da faixa de 100mV a 600mV (ABRAHAM; LI, 2014) .

Como esta corrente é muito baixa, ele precisa ser amplificada para ser reconhecida pelo Arduino. Isto é feito pelo circuito eletrônico adicional que se encontra no módulo do sensor.

Os sensores MQ2 de Metano e MQ3 de etanol foram usados inicialmente para observar o comportamento dos próprios sensores durante o processo de fermentação. Os dados recolhidos destes sensores não foram analisados neste experimento.

O sensor de temperatura e umidade DHT22 foi usado para como referência para monitoramento da temperatura e umidade do ambiente.

## Sensores do Arduino

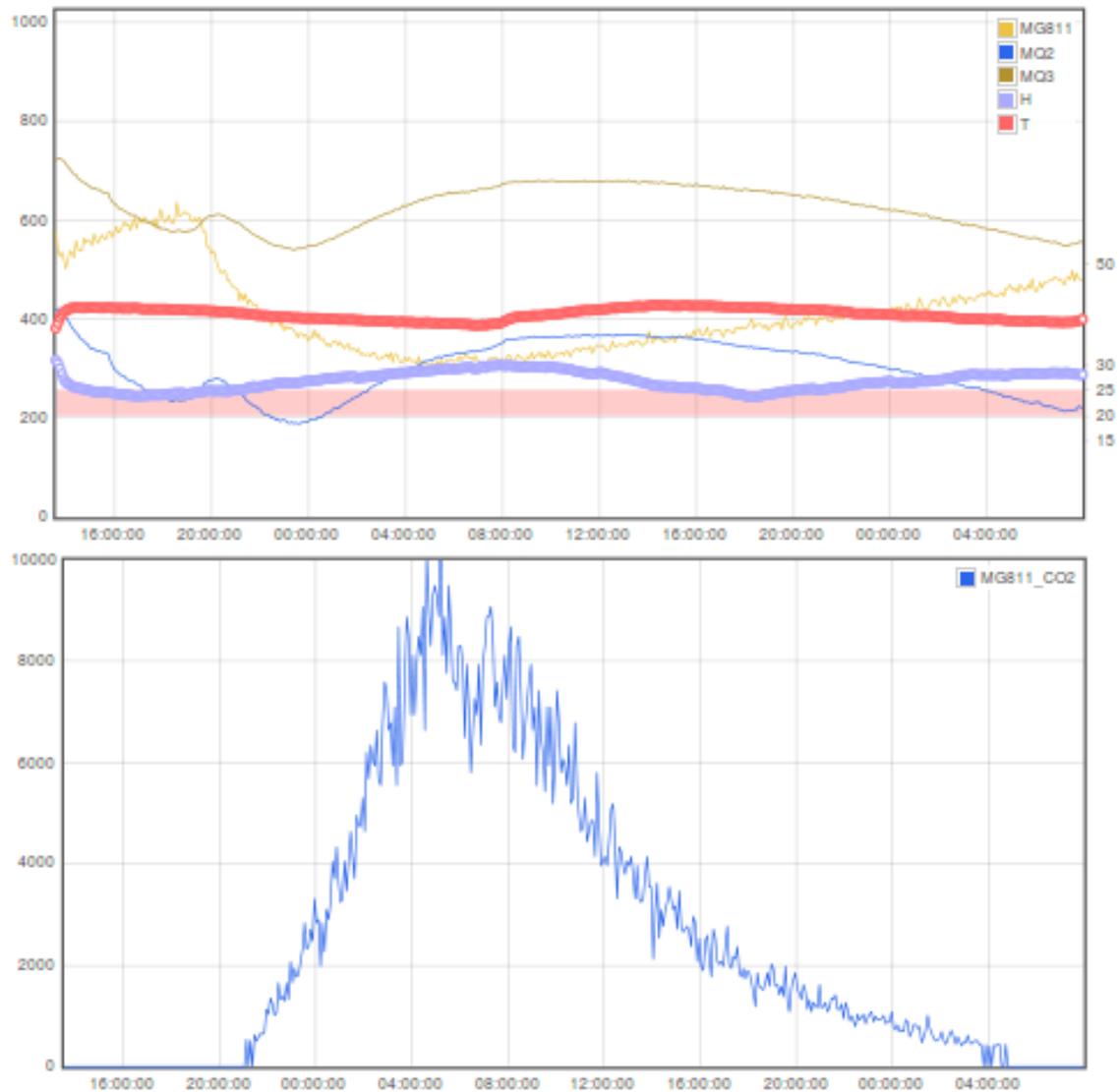


Figura 42: Dados recebidos durante a fermentação  
Exemplo dos dados gerados durante a fermentação, incluindo a temperatura T, a umidade H e os sensores Mq2, MQ3 e MG811

A anexo 1 mostra o código padrão para tratamento do sinal de saída do sensor de CO<sub>2</sub> MG-811 e sua conversão em valores de CO<sub>2</sub>, conforme tabela da figura 17.

Em seguida foram feitos vários experimentos, variando algum parâmetro. O resultado consolidado destes experimentos pode ser visto na figura 44.

Os valores da saída do sensor de CO<sub>2</sub> indicam a quantidade medida naquele momento. A área de um gráfico que mostra valores ao longo de um determinado período indica a quantidade total produzida de CO<sub>2</sub>. A tabela 4 mostra

a área calculada para os experimentos das fermentações. Estes valores estão colocados aqui de forma ilustrativa, pois não foram confirmações e conclusões sobre a aplicabilidade destes valores. Seria interessante avançar nesta pesquisa pois a quantidade de CO<sub>2</sub> produzida seria um indicador da quantidade de etanol produzido, conforme mostrado pela equação (1).

TABELA 1 - ÁREA DOS GRÁFICOS DAS FERMENTAÇÕES

|                |      |
|----------------|------|
| CER1 (400 ml): | 5.11 |
| CER2 (900ml):  | 3.37 |
| CER3:(620ml)   | 4.69 |
| CER4 (550ml):  | 3.22 |
| CER5 (300 ml): | 1.83 |
| CER6 (900ml) : | 1.25 |

#### 2.2.6 Detalhamento dos experimentos

Os experimentos foram feitos em um fogão industrial de 1 boca e utilizando o Kitasato de 1L.

O controle da chama e, conseqüentemente, da temperatura neste arranjo do experimento não foi adequado. Após o tempo de fervura de 60min o volume final ficou em 400ml.

Deixamos em repouso até que o recipiente atingisse a temperatura ambiente. Colocamos o inóculo em uma câmara de fluxo, conectamos o sensor de gás e deixamos em repouso em temperatura ambiente.

No segundo experimento, continuamos a usar o fogão industrial mas observando atentamente a chama e mantendo-a no mínimo para que o mosto entrasse em ebulição.

O volume final ficou em 800ml e completamos com 100ml de água fervida.

Deixamos em repouso até que o recipiente atingisse a temperatura ambiente. Colocamos o inóculo em uma câmara de fluxo, conectamos o sensor de gás e deixamos em repouso em temperatura ambiente.

O terceiro experimento foi uma repetição do segundo experimento mas o Erlenmeyer rachou com a temperatura. Não houve perda de líquido e passamos para um recipiente de alumínio.

O volume final ficou em 620ml e não completamos com água.

Continuando a usar o fogão industrial e acompanhando visualmente a fervura, o volume final do mosto ficou em 550ml.

Para este quarto experimento, passamos a controlar a temperatura. O Kitasato foi colocado em banho-maria a 20°C (figura 41) e o sistema foi colocado em um refrigerador doméstico (figura 40).

Repetimos a fervura no fogão industrial mas ficou evidente a ineficácia do controle da fervura apenas visualmente, pois o volume do líquido final estava variando muito: neste experimento o volume final ficou em 300ml.

Para a fermentação repetimos o controle da temperatura do experimento 4, colocando em banho-maria a 20°C (figura 41) e colocando o sistema em um refrigerador, para manter a temperatura externa o fermentador constante. (figura 40).

Para o experimento 6 abandonamos o uso do fogão industrial e passamos a usar um aquecedor elétrico (figura 39).

### 2.2.7 Repetição dos experimentos

Para verificar a repetibilidade do sistema de medição de CO<sub>2</sub>, o experimento de fermentação de cerveja foi repetido 6 vezes, tentando manter as mesmas condições em todos os experimentos, utilizando uma receita padrão APA e mantendo o sistema em um ambiente de temperatura controlada, com o recipiente em banho-maria a 24 °C e todo o sistema dentro de um refrigerador para manter a temperatura ambiente constante.

A Figura 43 mostra o resultado do monitoramento dos experimentos R1 a R6, plotados com os valores não processados de saída do sensor, ou seja, valores em mVolts.

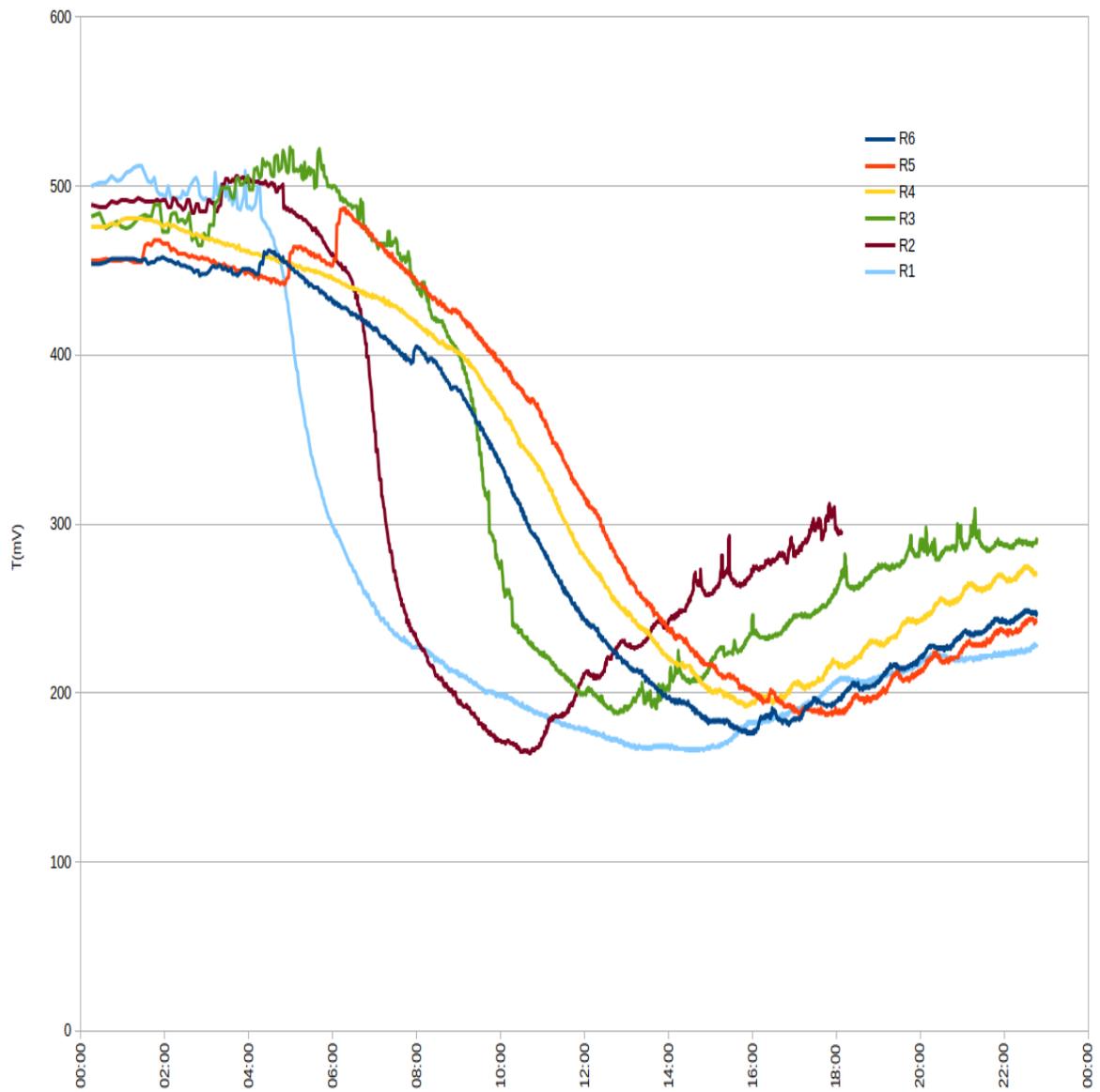


Figura 43: Resultado do monitoramento das fermentações  
O gráfico mostra os resultados sobrepostos dos seis experimentos R1 a R6 realizados.

### 2.2.8 Conclusão do experimento

Os experimentos foram realizados para acompanhar a processo de fermentação através do monitoramento da produção de CO<sub>2</sub> e os dados coletados nos seis experimentos foram consolidados na figura 44 e nas seis repetições da figura 43.

As diferenças entre as fermentações dos experimentos CER (Figura 44) são devidas às variações dos parâmetros dos experimentos, principalmente temperatura. As diferenças entre as fermentações dos experimentos R (Figura 43) são devidas à imprecisão dos sensores usados, se forem desconsiderados erros humanos durante as repetições dos mesmos.

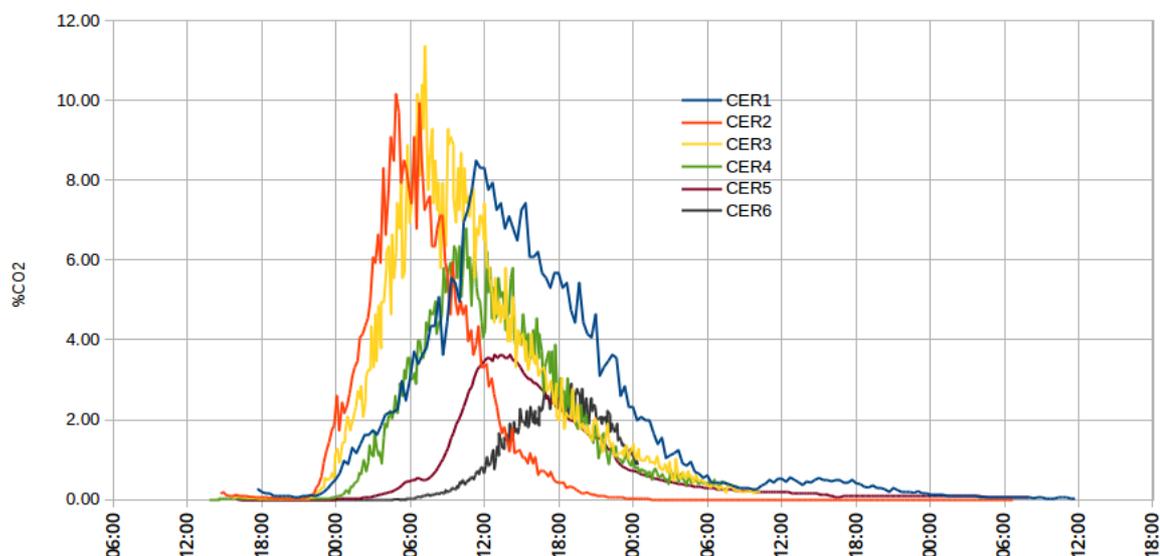


Figura 44: Experimentos CER  
O gráfico que mostra os valores de CO<sub>2</sub> medidos nos experimentos CER1 a CER6.

Não foi objetivo destes experimentos a otimização da produção de cerveja nem a quantificação da formação de CO<sub>2</sub> mas somente estudar a viabilidade do uso de sensores de baixo custo para o monitoramento do processo. Com isto em vista, o sistema demonstrou ser uma opção eficaz e econômica para monitorar o processo de fermentação da cerveja artesanal. A precisão do sistema pode ser aumentada através da utilização de sensores mais precisos, o que ampliaria o uso deste sistema em fermentações mais complexas.

## 2.3 OS PROTÓTIPOS

### 2.3.1 Hardware

Para a construção dos protótipos utilizamos peças normalmente encontradas em laboratórios, como tubos de silicone, caixas de placas de cultura e ponteiros de filtros, sempre visando a redução de custos.

A figura 45 mostra dois protótipos: um medidor de cor e um medidor de gás.

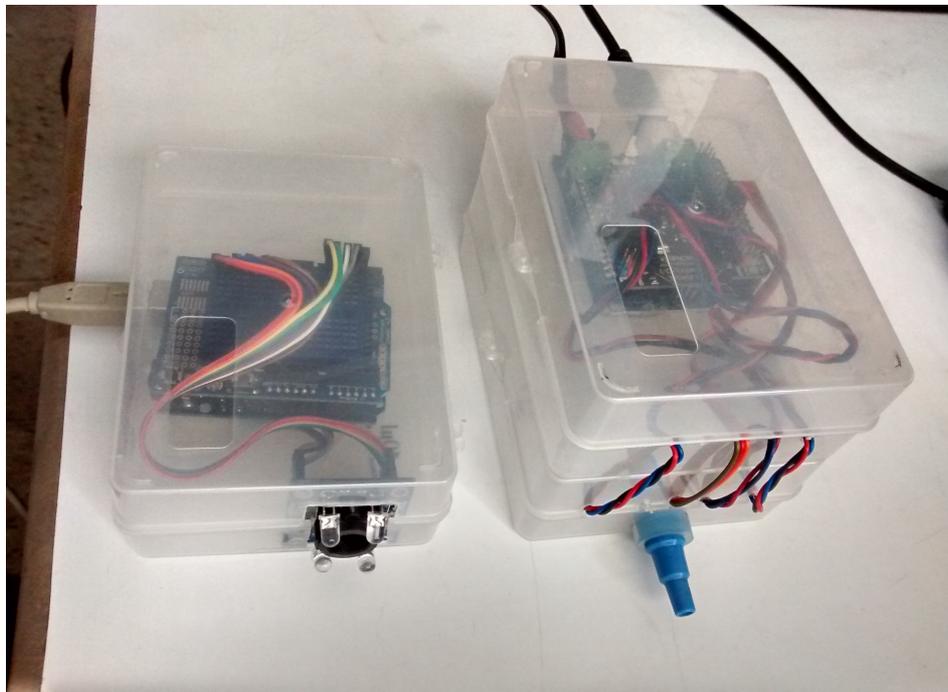


Figura 45: Protótipo do sensor de CO<sub>2</sub> usado nos experimentos

Como pode ser visto na figura 46 e figura 47, foram utilizadas caixas plásticas com recortes para encaixes dos sensores e dos cabos de conexões USB.

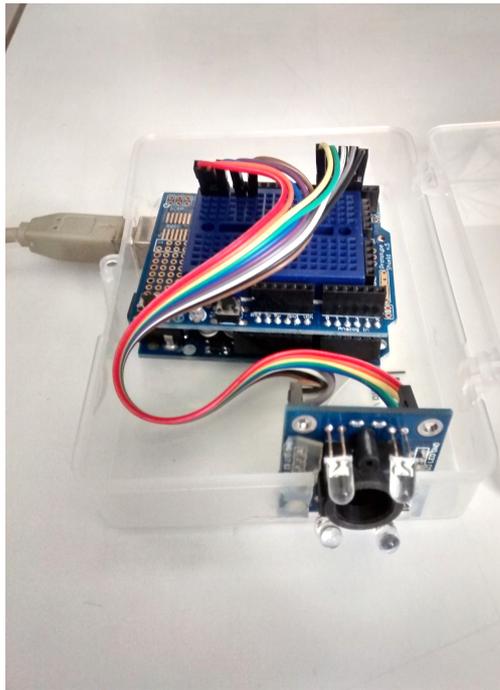


Figura 46: Vista dos componentes do protótipo usado nos experimentos.



Figura 47: Vista dos sensores dos protótipos usados nos experimentos. A imagem mostras os sensores MQ2, MQ3, MG811 e os sensor DHT11 montados dentro da caixa do protótipo.

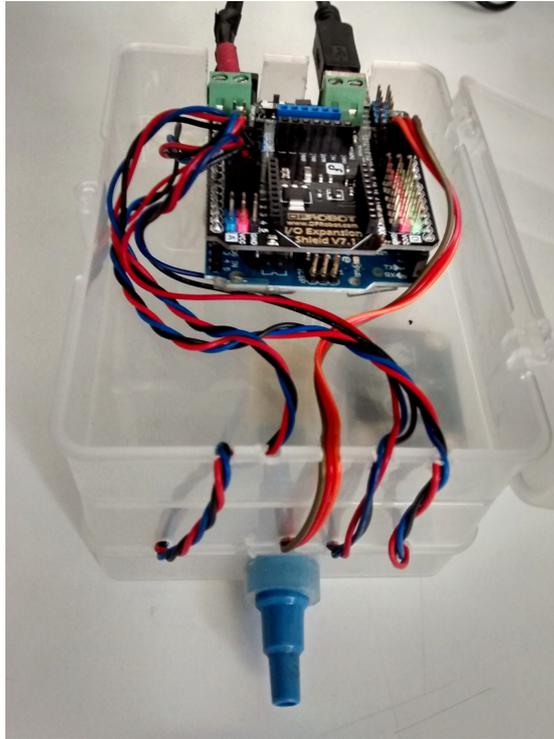


Figura 48: Vista do Arduino, microcontrolador usado no protótipo. A imagem mostra o microcontrolador Arduino e o conector do tubo de silicone.

A parte de conexão de fios e cabos é bastante simplificada pois os componentes podem ser adquiridos já os conectores (figura 49) adequados para a montagem com o Arduino.



Figura 49: Conectores padronizados.

A disponibilidade comercial de sensores e conectores padronizados para o Arduino facilita o desenvolvimento de protótipos.

Fonte: catálogo do fabricante (SPARKFUN, 2016)

Como desenvolvimento futuro deste projeto e visando um uso comercial, podemos pensar em um design mais atrativo, utilizando caixas padrões já disponíveis comercialmente, como na figura 50, ou até desenvolver um produto com design próprio, como na figura 51.



Figura 50: Caixa padrão para Arduino.

Exemplo de uma caixa padronizada para produtos que usem o Arduino.

Fonte: catálogo do fabricante (SPARKFUN, 2016)



Figura 51: Sensor comercial  
Exemplo de Sensor comercial de gás.  
Fonte: catálogo do fabricante ( <http://www.mitchellinstrument.com>)

Seria interessante também pensar em um equipamento que pudesse encaixar, ou até mesmo, vir junto com um AirLock (figura 36), dispositivo que os produtores de cerveja já conectam na saída do fermentador.

Outro desenvolvimento futuro seria o acesso ao equipamento através de conexão wireless ou bluetooth (ABRAHAM; LI, 2014), que permitira controlar o processo de fermentação por aparelhos de telefonia móvel ou smartphones (FERDOUSH; LI, 2014) e eventualmente a conexão de vários sensores em rede (GALLOWAY; HANCKE, 2012).

### 2.3.2 Software

A parte de programação foi dividida em 3 partes:

- Sensor → Arduino
- Arduino → PC
- PC → Visualização

A rotina de programação que recebe os dados sensor através das portas de entrada do Arduino foi feita adaptando o código fornecido pelo fabricante do equipamento como mostrado no anexo 1.

Os dados são então transmitidos pelo Arduino ao PC através da saída USB, utilizando o protocolo Firmata (FIRMAT, 2106).

Uma vez lidos no PC, os dados foram visualizados usando as rotinas de gráficos Flot (figura 52) (FLOTCHARTS, 2106).

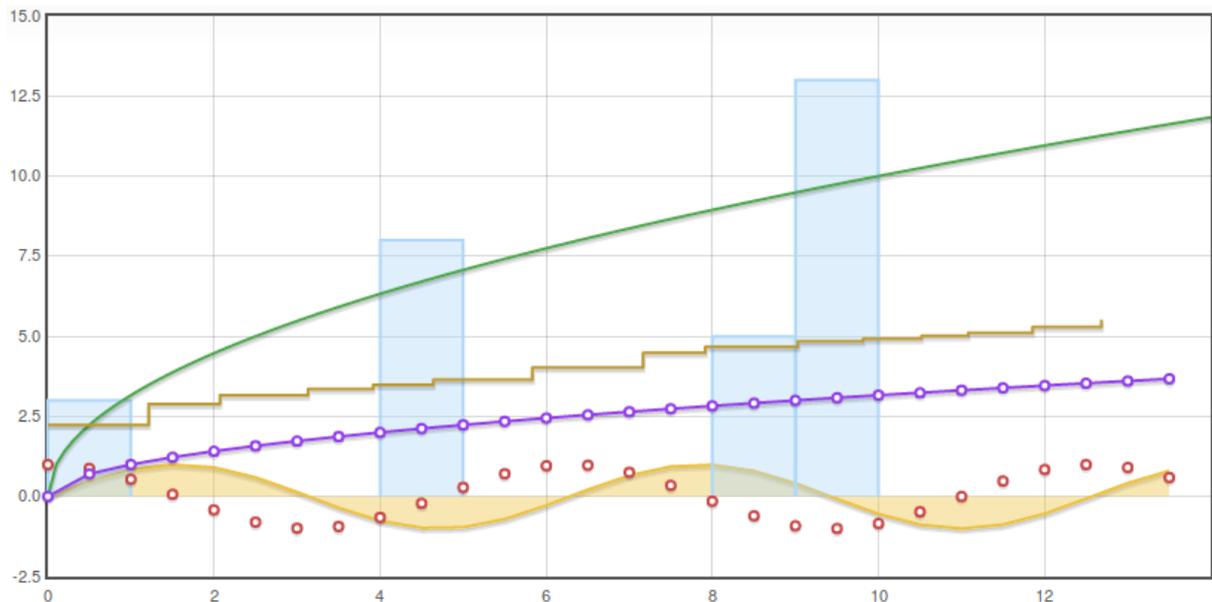


Figura 52: Biblioteca FLOT  
Biblioteca em Javascript usado no sistema desenvolvido pelo autor para a geração de gráficos.  
Fonte: (FLOTCHARTS, 2106),

## 2.4 CUSTOS DE PRODUÇÃO

Existem vários modelos, fabricantes e fornecedores dos componentes para construir o monitor de fermentação, como também existem diversos modelos de Arduinos, dependendo do número de entradas e saídas, memória e processador. Como referência, listamos na tabela 5 os custos de alguns destes componentes do fornecedor DFRobot (Fonte: [www.dfrobot.com](http://www.dfrobot.com)).

O custo de produção de um sistema para monitorar processo de fermentação é composto basicamente do Arduino (US\$5,00 a US\$30,00), sensor (US\$60,00) e acessórios (US\$20,00), ou seja, um custo estimado de US\$100,00, sem incluir impostos.

TABELA 5: TABELA DE CUSTOS DOS COMPONENTES

| Ítem  | Descrição                              | Modelo  | Custo   |
|---|--|---------|---------|
|    | MG-811 CO2 Sensor (Arduino compatible) | SEN0159 | \$56.05 |
|    | Expansion Shield for Arduino V7.1      | DFR0265 | \$13.95 |
|    | Arduino Uno R3                         | DFR0181 | \$28.90 |
|   | Cheapduino                             | DFR0236 | \$5.00  |
|  | DHT22 Temperature and Humidity Sensor  | SEN0137 | \$9.50  |
|  | TCS3200 Color Sensor                   | SEN0101 | \$7.90  |
|  | Wall Adapter Power Supply 12VDC 1A     | FIT0231 | \$6.90  |
|  | Arduino Case                           |         | \$8.00  |

Fonte: <http://www.dfrobot.com> em 12JAN2016

## 2.5 O MERCADO DA CERVEJA ARTESANAL

O Brasil é o terceiro maior fabricante de cerveja do mundo, com uma produção de 13,4 bilhões de litros anuais, segundo o Sistema de Controle de Produção de Bebidas da Receita Federal (Sicobe). Está atrás apenas de Estados Unidos e China, superando até a Alemanha. Dentro desse imponente mercado, as cervejas especiais abocanham uma fatia em torno de 5%, mais que o triplo do que representavam há cinco anos, segundo o cervejeiro da St. Gallen, em Teresópolis, Gabriel di Martino (PAINS, 2014).

O Brasil é um dos maiores consumidores de cerveja do mundo. A média anual de litros consumidos por habitante cresce ano a ano. Uma pesquisa realizada pelo Ibope em novembro de 2013 revela que a cerveja é a bebida preferida de 2/3 dos brasileiros para comemorações, com 64% da preferência.

Enquanto a classe C opta pelas grandes marcas, as classes A e B buscam a produtos que apresentem diferenciação. Atributo fortemente encontrado nas cervejas artesanais, cujo consumo é majoritariamente masculino, com idades entre 18 e 65 anos. As mulheres que as consomem têm entre 30 e 65 anos, de acordo com dados da Associação Brasileira de Bebidas – Abrabe.

Micro cervejarias e importadoras estão ocupando um importante espaço no mercado nacional. As chamadas cervejas especiais, que reúnem — segundo a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CervBrasil) — as artesanais, as importadas e as industriais de categoria premium, ocupam hoje 5% do mercado e têm previsão de dobrar o número de vendas nos próximos cinco anos.

Na última década, a produção de cerveja no Brasil cresceu impressionantes 64%, saltando de 8,2 bilhões para 13,4 bilhões de litros anuais, segundo dados do Sicobe (Sistema de Controle de Produção de Bebidas da Receita Federal). É um mercado em franca expansão: o Brasil é o terceiro maior produtor do mundo, atrás de Estados Unidos e China e supera a Rússia e a Alemanha.

Apesar do reconhecimento de que o país atravessa um ótimo momento para quem quer investir na produção de cervejas artesanais, existem outras potencialidades de negócios que podem se revelar como um excelente canal de distribuição de um produto tão apreciado por brasileiros (LIMA, 2016).

## 2.6 PESQUISA DE MERCADO

Para verificar o interesse do mercado em adquirir um sistema para monitorar o processo de fermentação de cerveja e um sistema para medir a cor, foi feita uma pesquisa com 12 produtores de cerveja.

Todos os entrevistados que já produzem cerveja informaram que monitoram o processamento da fermentação pela medição manual e periódica da densidade do meio e o controle da cor é um controle puramente visual.

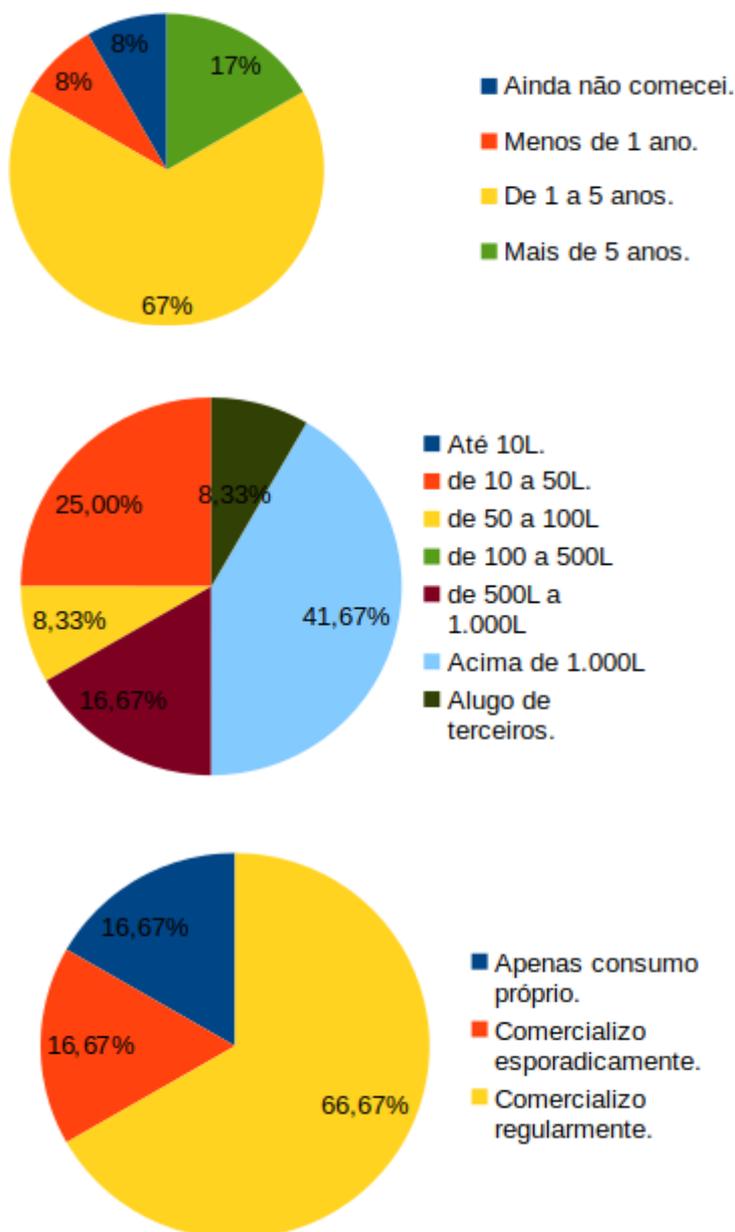
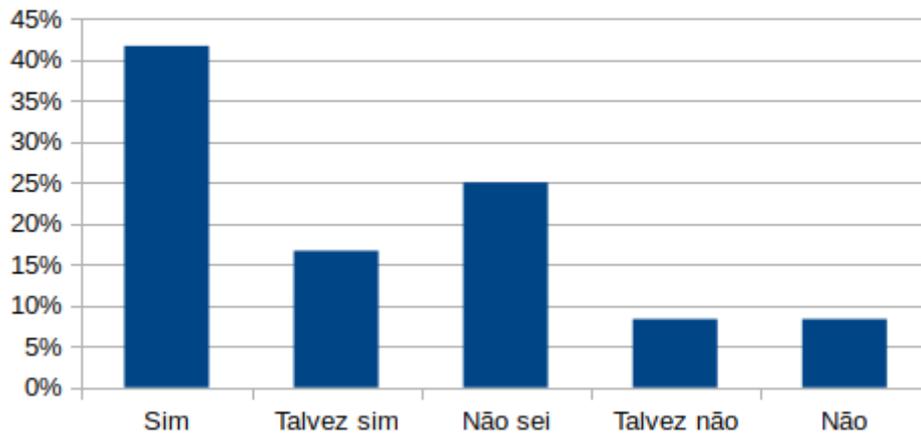


Figura 53: Dados resultantes das entrevistas.

Os gráficos acima mostram a distribuição das respostas dos entrevistados quanto ao tempo de experiência na produção de cerveja, tamanho do equipamento que possui e finalidade principal.

67% dos entrevistados disseram que produzem cerveja de 1 de 5 anos, 42% possuem equipamentos com fermentadores maiores que 1.000L e 67% comercializam regularmente.

### Você compraria um sistema para monitorar a fermentação?



### Quanto você estaria disposto a pagar?

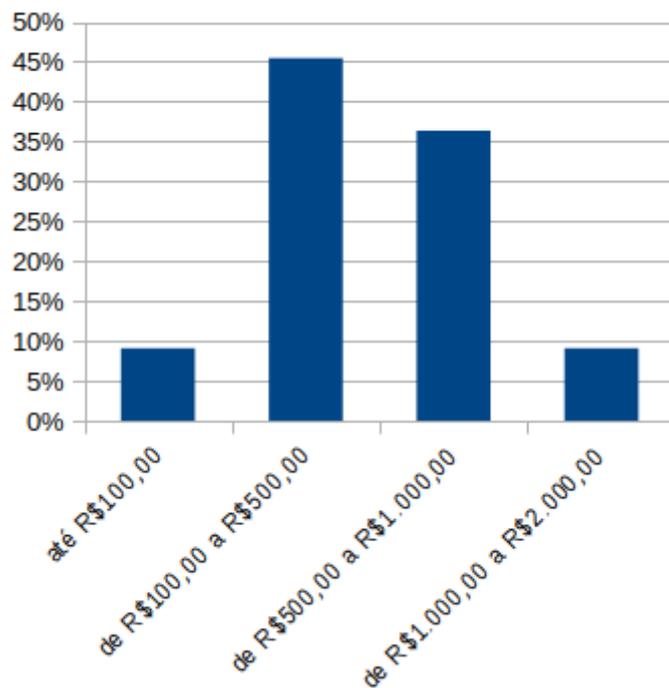
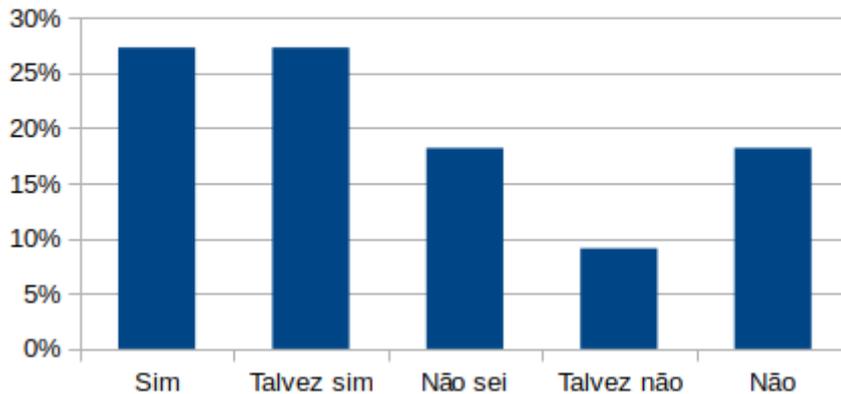


Figura 54: Pesquisa sobre monitoramento da fermentação

Os gráficos acima mostram o quanto os entrevistados se mostram interessados em adquirir um sistema para monitorar a fermentação.

42% dos entrevistados informaram que comprariam um sistema para monitorar o processo de fermentação e poderiam pagar de R\$100,00 a R\$500,00 por tal sistema.

Você compraria um sistema para medir a cor da cerveja?



Quanto você pagaria por um sistema para medir a cor?

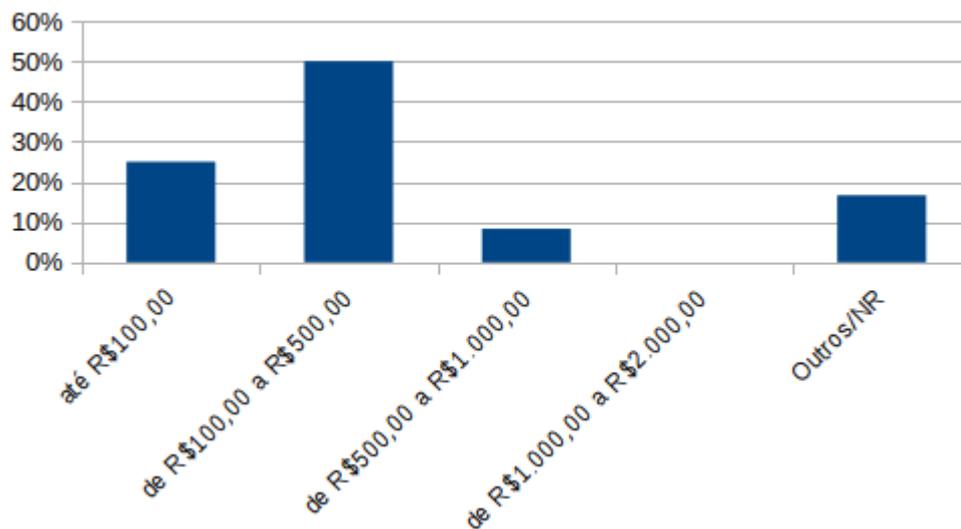


Figura 55: Pesquisa sobre de medição de cor

Os gráficos acima mostram o quanto os entrevistados estariam dispostos a adquirir um sistema para medir a cor da cerveja.

Os entrevistados que demonstraram interesse no sistema para medir a cor correspondem a 27% (Sim) e 27% (Talvez sim) e estariam dispostos a pagar de R\$100,00 a R\$500,00 por tal sistema.

Foi observado durante as entrevistas que existe uma certa indefinição do uso do termo “artesanal” entre os produtores: aqueles que já comercializam seu produto, se consideram “pequenos produtores” e não “produtores artesanais” e classificam aqueles que ainda não comercializam como “produtores caseiros”.

## 2.7 PROPRIEDADE INTELECTUAL

O procedimento usual quando algum produto novo é criado é iniciar o processo de depositar o pedido de patente para proteger os interesses do autor da idéias das pessoas e empresas que pensem em explorar ou roubar sua idéia. O conceito primordial de uma patente é impedir que outros produzam ou se apropriem do produto patenteado. Ela não ajuda o autor a produzir ou melhorar seu produto e existe um alto custo em depositar e manter uma patente durante o período de validade, normalmente 20 anos.

### 2.7.1 Código Aberto

Existem várias versões de licenças abertas. Como exemplo, citamos a Creative Commons-Atribuition-ShareAlike, usado pelo Arduino:

***“Você é livre para :***

- *Compartilhar – copiar e redistribuir o material em qualquer meio ou formato;*
- *Adaptar – misturar, transformar e se basear no material para qualquer objetivo, inclusive comercial.*

*O licenciador não pode cancelar estas liberdades desde que você siga as condições da licença.*

***Sob os seguintes termos:***

- *Atribuição – você deve dar o crédito adequado, informando o link para a licença e indicando se foram feitas mudanças. Você deve fazer isto de qualquer maneira razoável, desde não sugira que o licenciador te autorizou.*
- *ShareAlike – se você mudou, transformou ou se baseou no material, você deve distribuir sua contribuição na mesma licença que o original.*
- *Sem restrições adicionais – você não pode aplicar outras leis ou medidas que legalmente possam restringir outros a fazerem o que a licença permite.”*  
*(“Attribution-ShareAlike 2.5 Generic — CC BY-SA 2.5”, 2106)*

Uma vantagem importante da licença de código aberto em relação às patentes está relacionada às melhorias do produto. No caso de patentes, um concorrente não pode produzir o seu produto mas pode solicitar uma patente relacionada a alguma melhoria do seu produto e você não poderá incorporar esta

melhoria. No caso da licença de código aberto, o seu concorrente é obrigado a disponibilizar a melhora com a mesma licença aberta, permitindo que você incorpore esta melhoria (KATZ, 2012).

### 2.7.2 O exemplo do Projeto Arduino

O projeto Arduino teve início no Instituto de Design Interativo de Ivrea, em Ivrea, Itália. Começou como projeto de estudantes para criar um sistema de baixo custo e simples para que pessoas que não tivessem formação de engenheiros pudessem criar projetos digitais.

Em 2005 eles disponibilizaram os primeiros produtos com código aberto. Em 2011 estima-se que 300.000 unidades do Arduino foram comercializadas e em 2013 este número passou para 700.000 unidades.

### 2.7.3 Como ter lucros com produtos copiáveis

Uma das principais questões levantadas quando se fala de código-aberto é “como é possível criar um negócio sustentável com um produto não patenteável e que todos podem copiar?” (“Open Source Hardware Business Models”, 2016)

Analisando as maiores empresas que trabalham com estes produtos, foram encontrados os seguintes modelos de negócios:

1. Venda do produto – mesmo que um produto seja copiável não quer dizer que todos tem tecnologia e interesse em produzi-lo. Mesmo um produto patenteado não está livre de cópias, imitações e engenharia reversa.
2. Venda de serviços – o produto desenvolvido pode ser parte da prestação de um serviço.
3. Venda de consultoria - o conhecimento adquirido no desenvolvimento do produto pode ser vendido com consultoria na criação de outros produtos semelhantes.

### **3 CONCLUSÕES**

### 3 CONCLUSÕES

Os experimentos mostraram que é possível a utilização de equipamentos de baixo custo para o monitoramento de processos biológicos em universidades e pequenas empresas.

O ideal seria que todo laboratório ou pequena empresa tivesse acesso a equipamentos precisos, mas precisão está geralmente associada a alto custo (D'AUSILIO, 2012)

As desvantagens de menor precisão, seletividade e repetibilidade (figura 13), podem ser contrabalanceados pelo menor custo e maior flexibilidade dos equipamentos desenvolvidos internamente versus equipamentos adquiridos no mercado.

Caso um experimento necessite de uma medição mais precisa, os sensores usados neste projetos poderiam ser substituídos por outros mais precisos ou mais seletivos, quando esta necessidade do experimento justificar o aumento de custos (ABRAHAM; LI, 2014). Por ser um projeto modular, bastaria substituir o sensor, mantendo o restante do equipamento (Arduino, caixa e interface com o usuário).

Nem todo experimento necessita de uma aparelhagem de alta precisão e é comum o caso de laboratórios que possuem um equipamento caro e alta precisão mas a fila para usar tal equipamento inviabiliza várias pesquisas.

Podemos imaginar uma estratégia onde experimentos iniciais são feitos em aparelhos de baixo custo e apenas uma validação final é feita nos equipamentos mais precisos.

Nos casos de pequenas empresas, muitas vezes a única opção é o monitoramento visual, sem a aquisição de equipamentos. Como é o caso das cervejarias artesanais onde a fermentação é monitorada observando se estão saindo bolhas ou não nos Airlocks.

Outra vantagem a ser considerada é o aprendizado que a construção dos próprios equipamentos pode trazer para as universidades, ampliando inclusive a interação entre áreas diversas como biologia, engenharia e informática.

### 3.1.1 Proposta para desenvolvimento futuro

Sugere-se que sejam feitos mais experimentos com outros tipos de processos de fermentação e em condições mais controladas mas como prova de conceito, o objetivo foi alcançado, demonstrando a viabilidade em construir equipamentos de monitoramento que possam ser utilizados em laboratório e pequenas empresas.

Propomos então, o desenvolvimento de um sistema modular constituído de 1) sensores, 2) microprocessador e 3) interface com o usuário conforme figura 56.

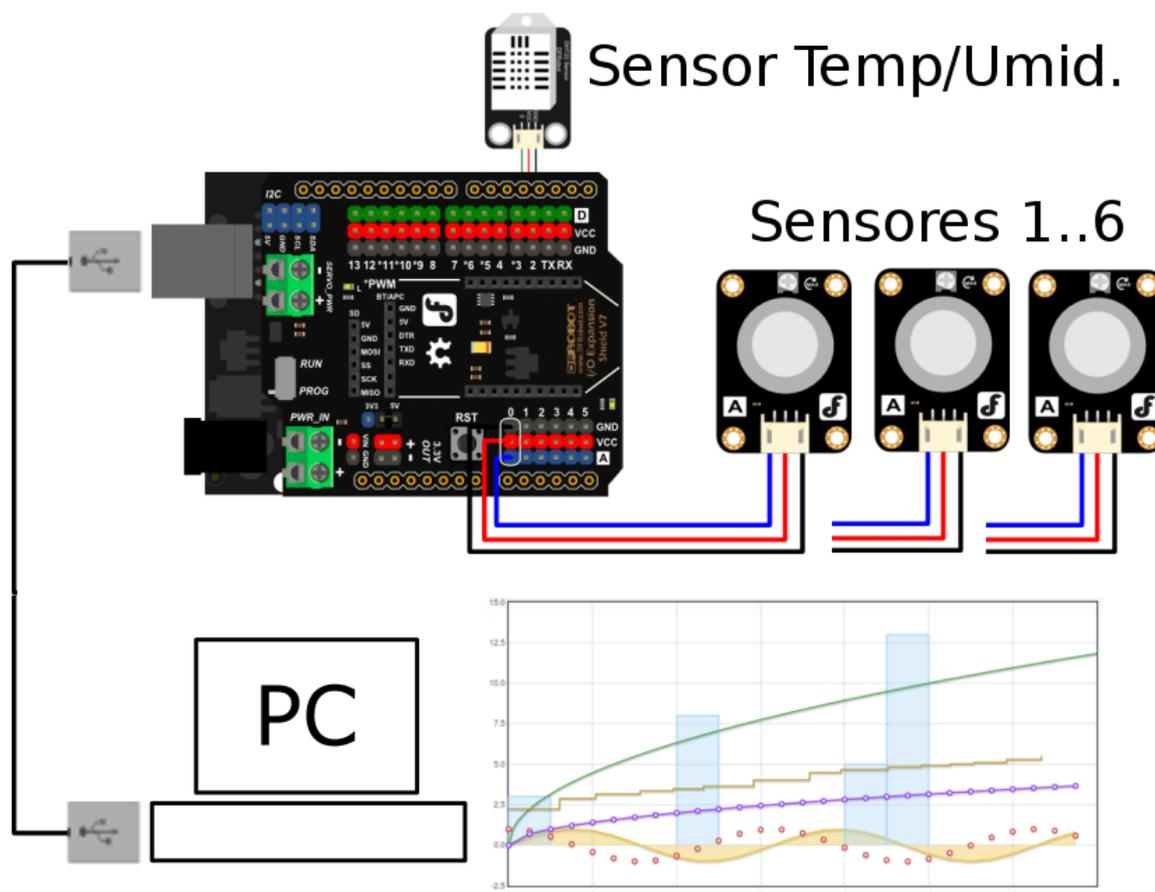


Figura 56: Proposta para desenvolvimento futuro

O autor sugere a continuação deste desenvolvimento para a criação de um sistema modular para o monitoramento de processos de fermentação.

Os sensores seriam um ou mais módulos (figura 11) definidos de acordo com a necessidade de monitoramento de cada laboratório: cor, gás (CO<sub>2</sub>, CO,

Etanol, Metano, etc) e até mesmo pH, experimento conduzido em laboratório (figura 57) mas não descrito neste documento.

O microprocessador seria um Arduino com um programa padronizado para somente ler os dados dos sensores e repassar para o PC.

A interface com o usuário seria um programa que receberia os dados do microprocessador, trataria estes de acordo com cada sensor instalado e mostraria gráficos e tabelas para o usuário.

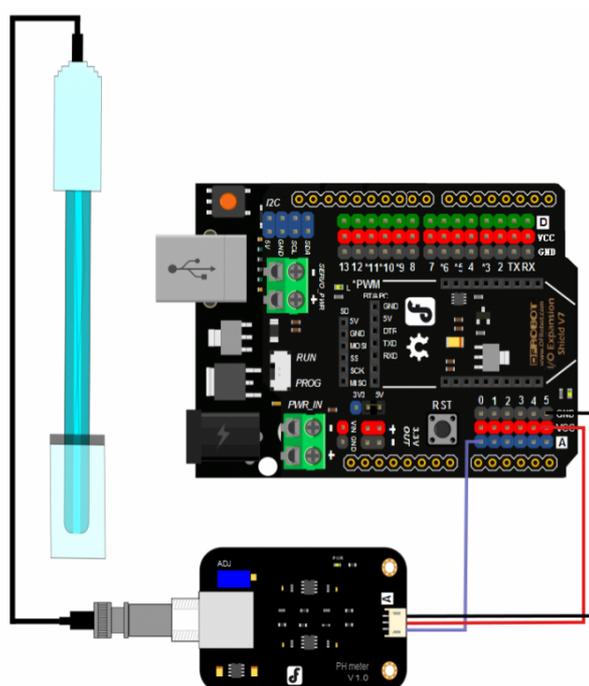


Figura 57: pHmetro  
Exemplo de pHmetro conectado a um microcontrolador Arduino.  
Fonte: Catálogo do fabricante DFRobot

Este seria um desenvolvimento colaborativo entre vários atores e setores da universidade. Este conceito de “co-criação” ou Inovação Aberta é uma evolução ao tradicional processo onde as empresas projetam produtos e colocam no mercado através dos canais de marketing e vendas (HRIBERNIK et al., 2011).

Esta interação com o usuário final logo no início do desenvolvimento de um produto (figura 58) permite uma otimização de forma, função e custo.

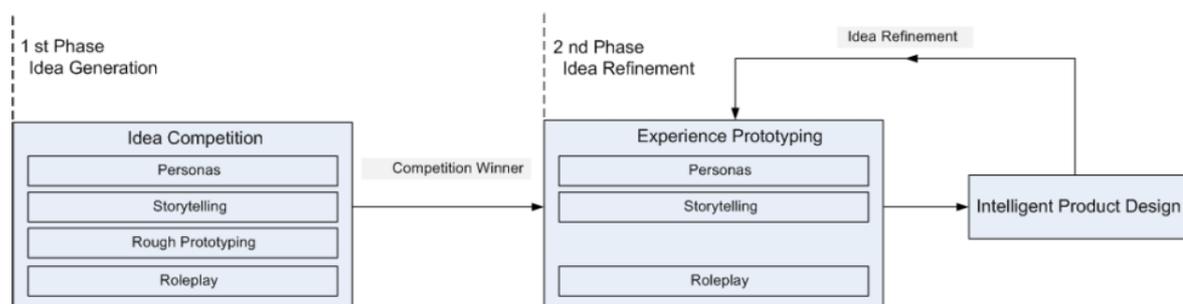


Figura 58: Desenvolvimento colaborativo

Universidades são um ambiente ideal para o desenvolvimento colaborativo de novos produtos.

Fonte: (HRIBERNIK et al., 2011)

Os laboratórios seriam responsáveis pela definição de necessidades e teste dos produtos.

Departamentos de Informática seriam responsáveis pelo software de controle do microprocessador e interface com o usuário.

Design e Engenharia seriam responsáveis pela forma e aparência do produto.

Eventualmente o produto poderá gerar uma *spin-off* e os departamentos de Marketing e Administração poderão prestar consultoria.

## 4 REFERÊNCIAS

ABRAHAM, S.; LI, X. A cost-effective wireless sensor network system for indoor air quality monitoring applications. **Procedia Computer Science**, v. 34, p. 165–171, 2014.

ALMONACID, S. F. et al. A Comparative Study of Stout Beer Batch Fermentation Using Free and Microencapsulated Yeasts. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 2, p. 750–758, 2012.

ANDRÉS-TORO, B. et al. Multiobjective optimization and multivariable control of the beer fermentation process with the use of evolutionary algorithms. **Journal of Zhejiang University. Science**, v. 5, n. 4, p. 378–89, 2004.

ARDUINO AG. **Arduino - Introduction**. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>>. Acesso em: 5 jan. 2016.

**ATmega328P - Microcontrollers and Processors**. Disponível em: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328P>>. Acesso em: 22 maio. 2017.

**Attribution-ShareAlike 2.5 Generic — CC BY-SA 2.5**. Disponível em: <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

BOKULICH, N. A.; BAMFORTH, C. W. The Microbiology of Malting and Brewing. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 77, n. 2, p. 157–172, 2013.

CQE. **Measurement Systems**. Disponível em: <<http://www.cqeacademy.com/cqe-body-of-knowledge/product-process-control/measurement-systems/>>. Acesso em: 1 fev. 2017.

D'AUSILIO, A. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. **Behavior Research Methods**, v. 44, n. 2, p. 305–313, 2012.

DE ANDRÉS-TORO, B. et al. A kinetic model for beer production under industrial operational conditions. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 48, n. 1, p. 65–74, nov. 1998.

DFROBOT. **Quality Arduino Robot IOT DIY Electronic Kit**. Disponível em: <<https://www.dfrobot.com/>>. Acesso em: 14 fev. 2017.

FERDOUSH, S.; LI, X. Wireless sensor network system design using Raspberry Pi and Arduino for environmental monitoring applications. **Procedia Computer Science**, v. 34, p. 103–110, 2014.

FIRMAT. **Firmata Protocol**. Disponível em: <<https://github.com/firmata/arduino>>.

FLOTCHARTS. **Flot A Javascript Plotting Library**. Disponível em: <<http://www.flotcharts.org/>>.

GALLOWAY, B.; HANCKE, G. P. Introduction to Industrial Control Networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 15, n. 2, p. 1–21, 2012.

GIOVENZANA, V.; BEGHI, R.; GUIDETTI, R. Rapid evaluation of craft beer quality during fermentation process by vis/NIR spectroscopy. **Journal of Food Engineering**, v. 142, p. 80–86, 2014.

HRIBERNIK, K. A et al. Co-creating the Internet of Things - First Experiences in the Participatory Design of Intelligent Products with Arduino. **Concurrent Enterprising (ICE), 2011 17th International Conference on**, n. Ice, p. 1–9, 2011.

IBELLI, R. C. **Diário do Comércio - Quer viver de cerveja?** Disponível em: <[http://www.dcomercio.com.br/categoria/negocios/quer\\_viver\\_de\\_cerveja\\_entao\\_tome\\_decisoos\\_sobrias\\_](http://www.dcomercio.com.br/categoria/negocios/quer_viver_de_cerveja_entao_tome_decisoos_sobrias_)>. Acesso em: 6 jan. 2016.

KANG, A.; LEE, T. S. Converting Sugars to Biofuels: Ethanol and Beyond. **Bioengineering**, v. 2, n. 4, p. 184–203, 2015.

KATZ, A. Towards a Functional Licence for Open Hardware. **International Free and Open Source Software Law Review**, v. 4, n. 1, p. 41–62, 2012.

LIMA, F. DE S. **Como montar uma MicroCervejariaSebrae**, 2016. Disponível em: <<http://www.novonegocio.com.br/ideias-de-negocios/como-montar-uma-grafica/>>

LUNDGREN, E. **TrackingJs-A modern approach for Computer Vision on the web**. Disponível em: <<https://trackingjs.com/>>. Acesso em: 7 jan. 2016.

MEUSSDOERFFER, F. G. A Comprehensive History of Beer Brewing. In: **Handbook of Brewing**. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. p. 1–42.

MOUJAHID, A. **A Practical Introduction to IoT using Arduino, Node.js and Plotly**. Disponível em: <<http://adilmoujahid.com/posts/2015/07/practical-introduction-iot-arduino-nodejs-plotly/>>. Acesso em: 18 jan. 2016.

OLIMEX. **MG811: CO2 Sensor Protocols and Product Manuals**, 2106.

**Open Source Hardware Business Models**. Disponível em: <<http://makingsociety.com/2014/12/open-source-hardware-business-model/>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

PAINS, C. **Mercado em franca fermentação, produção de cervejas artesanais triplica nos últimos anos.** Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/bairros/mercado-em-franca-fermentacao-producao-de-cervejas-artesanais-triplica-nos-ultimos-anos-12939850>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

PARCUNEV, I. et al. Modeling Of Alcohol Fermentation In Brewing – Some Practical Approaches. **European Conference on Modelling and Simulation-ECMS**, v. 26th, p. 434–440, 2012.

PULLI, K. et al. Real-time computer vision with OpenCV. **Communications of the ACM**, v. 55, n. 6, p. 61, 2012.

RAMPERSAD, S. N. Multiple Applications of Alamar Blue as an Indicator of Metabolic Function and Cellular Health in Cell Viability Bioassays. **Sensors**, v. 12, n. 12, p. 12347–12360, 2012.

SANDBOX. **MG-811 CO2 Sensor Module.** Disponível em: <<http://sandboxelectronics.com/?p=147>>. Acesso em: 6 jan. 2016.

SIQUEIRA, P. B.; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 491–498, 2008.

SPARKFUN. **What is an Arduino?** Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino>>. Acesso em: 6 jan. 2016.

TAOS. **PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER**Datasheet, 2004.

W. HAGEN, H. S. **Precision Values of Wort Analyses**Analytica-EBC. [s.l: s.n.].

WILLAERT, R. Biochemistry of Beer Fermentation. **Food Biochemistry and Food Processing: Second Edition**, n. Meussdoerffer 2009, p. 627–653, 2012.

XIONG, L.; COMPTON, R. G. Amperometric Gas detection : A Review. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 9, p. 7152–7181, 2014.

## 5 ANEXOS

### 5.1 CÓDIGO EXEMPLO PARA TRATAMENTO DOS DADOS DE ENTRADA DO SENSOR MG-811

```

/*****Demo for MG-811 Gas Sensor Module V1.1*****/
Author: Tieguan Shao: tiequan.shao@sandboxelectronics.com
        Peng Wei:      peng.wei@sandboxelectronics.com

Licence: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported (CC BY-NC-SA 3.0)

Note:   This piece of source code is supposed to be used as a demonstration ONLY. More
        sophisticated calibration is required for industrial field application.

                                                Sandbox Electronics    2012-05-31
*****/
/*****Hardware Related Macros*****/
#define      MG_PIN                (0)      //define which analog input channel you
are going to use
#define      BOOL_PIN              (2)
#define      DC_GAIN               (8.5)   //define the DC gain of amplifier

/*****Software Related Macros*****/
#define      READ_SAMPLE_INTERVAL  (50)    //define how many samples you are going
to take in normal operation
#define      READ_SAMPLE_TIMES     (5)     //define the time interval(in milisecond)
between each samples in

                                                //normal operation

/*****Application Related Macros*****/
//These two values differ from sensor to sensor. user should derermine this value.
#define      ZERO_POINT_VOLTAGE    (0.220) //define the output of the sensor in
volts when the concentration of CO2 is 400PPM
#define      REACTION_VOLTGAEE     (0.020) //define the voltage drop of the sensor
when move the sensor from air into 1000ppm CO2
/*****Globals*****/
float      CO2Curve[3] = {2.602,ZERO_POINT_VOLTAGE,(REACTION_VOLTGAEE/(2.602-3))};
                                                //two points are taken from the curve.
                                                //with these two points, a line is formed which is
                                                //approximately equivalent" to the original curve.
                                                //data format:{ x, y, slope}; point1: (lg400, 0.324), point2:
(lg4000, 0.280)
                                                //slope = ( reaction voltage ) / (log400 -log1000)

void setup()
{
    Serial.begin(9600);                      //UART setup, baudrate = 9600bps
    pinMode(BOOL_PIN, INPUT);                //set pin to input
    digitalWrite(BOOL_PIN, HIGH);           //turn on pullup resistors

    Serial.print("MG-811 Demonstration\n");

```

```
}
void loop()
{
  int percentage;
  float volts;

  volts = MGRead(MG_PIN);
  Serial.print( "SEN-00007:" );
  Serial.print(volts);
  Serial.print( "V          " );

  percentage = MGGetPercentage(volts,CO2Curve);
  Serial.print("CO2:");
  if (percentage == -1) {
    Serial.print( "<400" );
  } else {
    Serial.print(percentage);
  }

  Serial.print( "ppm" );
  Serial.print("\n");

  if (digitalRead(BOOL_PIN) ){
    Serial.print( "=====BOOL is HIGH=====" );
  } else {
    Serial.print( "=====BOOL is LOW=====" );
  }

  Serial.print("\n");

  delay(200);
}
/***** MGRead *****/
Input:  mg_pin - analog channel
Output: output of SEN-00007
Remarks: This function reads the output of SEN-00007
*****/
float MGRead(int mg_pin)
{
  int i;
  float v=0;
  for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
    v += analogRead(mg_pin);
    delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
  }
  v = (v/READ_SAMPLE_TIMES) *5/1024 ;
  return v;
}

/***** MQGetPercentage *****/
```

Input: volts - SEN-000007 output measured in volts  
 pcurve - pointer to the curve of the target gas

Output: ppm of the target gas

Remarks: By using the slope and a point of the line. The x(logarithmic value of ppm) of the line could be derived if y(MG-811 output) is provided. As it is a logarithmic coordinate, power of 10 is used to convert the result to non-logarithmic value.

```

*****/
int MGGetPercentage(float volts, float *pcurve)
{
  if ((volts/DC_GAIN )>=ZERO_POINT_VOLTAGE) {
    return -1;
  } else {
    return pow(10, ((volts/DC_GAIN)-pcurve[1])/pcurve[2]+pcurve[0]);
  }
}

```

## 5.2 SENSORES DE GASES DISPONÍVEIS NO FORNECEDOR DFROBOT

Fonte : <http://www.dfrobot.com/>

- MQ2
  - Analog\_Gas\_Sensor\_SKU:SEN0127
  - suitable for detecting LPG, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.It has a high sensitivity and fast response time.And the sensitivity can be adjusted by the potentiometer
- MQ3
  - It has a high sensitivity to alcohol and small sensitivity to Benzine
- MQ4
  - suitable for detecting CH4,Natural gas, LNG, avoid exposure to alcohol, cooking fumes, and cigarette smoke
- MQ5
  - suitable for detecting LPG, natural gas, coal gas. Avoid the noise of alcohol, cooking fumes and cigarette smoke
- MQ6
  - suitable for detecting LPG, iso-butane, propane, LNG. Avoid the noise of alcohol, cooking fumes and cigarette smoke
- MQ811

- highly sensitive to CO<sub>2</sub> and less sensitive to alcohol and CO, low humidity & temperature dependency Notice:7~12V is necessary to power the microcontroller when using the CO<sub>2</sub> Sensor