

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO E PROTOTIPAGEM DE ENCHEDOR DE
CONTRAPRESSÃO PARA ENVASE AUTOMÁTICO
DE CERVEJA EM GROWLERS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Vagner Mateus Funck

**Santa Maria, RS, Brasil
2018**

PROJETO E PROTOTIPAGEM DE ENCHEDOR DE CONTRAPRESSÃO PARA ENVASE AUTOMÁTICO DE CERVEJA EM GROWLERS

Vagner Mateus Funck

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Engenheiro Mecânico.**

Orientador: Prof. Mario Eduardo Santos Martins, Ph.D

**Santa Maria, RS, Brasil
2018**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Curso de Engenharia Mecânica**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso**

**PROJETO E PROTOTIPAGEM DE ENCHEDOR DE
CONTRAPRESSÃO PARA ENVASE AUTOMÁTICO DE CERVEJA EM
GROWLERS**

elaborado por
Vagner Mateus Funck

como requisito para obtenção do grau de
Engenheiro Mecânico

COMISSÃO EXAMINADORA:

Mario Eduardo Santos Martins, Ph.D
(Orientador, UFSM)

Humberto Pinheiro, Ph.D. (UFSM)

Dênis Rabenschlag, Ph.D. (UFSM)

Santa Maria, 14 de dezembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família por me dar todo o suporte para a realização deste trabalho, ao professor Mario Martins por acreditar no projeto e me orientar nessa longa caminhada de desenvolvimento, ao Roberto Garlet por me ajudar na construção do protótipo, ao Ricardo Marchesan pelo tempo cedido para me auxiliar com a programação, a todos os meus amigos pelo incentivo, a UFSM pelos espaços laboratoriais e pela assistência estudantil e, por último mas não menos importante, ao Denys Souto Coelho, Diretor Executivo da Cervejaria Zagaia, pelo confiança e pelo patrocínio do projeto.

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Engenharia Mecânica
Universidade Federal de Santa Maria

PROJETO E PROTOTIPAGEM DE ENCHEDOR DE CONTRAPRESSÃO PARA ENVASE AUTOMÁTICO DE CERVEJA EM GROWLERS

Autor: Vagner Mateus Funck

Orientador: Mario Eduardo Santos Martins

Data e Local de Defesa: Santa Maria, 14 de dezembro de 2018

Este trabalho apresenta o projeto e a prototipagem de um enchedor de contrapressão automático para envase de cerveja artesanal em *growlers*. A partir da observação da grande quantidade de cerveja artesanal desperdiçada por parte de comerciantes ao não aplicarem o método correto de enchimento de *growlers*, desenvolveu-se este equipamento para primeiramente evitar este desperdício, manter a qualidade do produto e tornar o processo de enchimento mais moderno e eficiente. Realizou-se uma pesquisa com possíveis clientes, fez-se um levantamento das suas principais necessidades, pesquisou-se patetes e produtos e com todas essas informações elaborou-se um conceito de funcionamento. O equipamento atua no controle da diferença de pressão entre o barril de cerveja e o *growler*. Para tanto, aumenta-se a pressão interna do *growler* para que ela se equipare a pressão interna do barril, então através da manipulação correta das válvulas obtém-se uma diferença de pressão pequena entre ambos, sendo a do *growler* menor, o suficiente para que a cerveja escoe do ambiente de maior pressão para o de menor. Como resultado obteve-se o projeto e a construção completa do protótipo do enchedor de contrapressão automático e concluiu-se que o mesmo apresentou o desempenho esperado, alcançando 3 dos 4 requisitos de projeto.

ABSTRACT

Course conclusion work
Mechanical Engineering Course
Federal University of Santa Maria

DESIGN AND PROTOTYPING OF AUTOMATIC COUNTER PRESSURE GROWLER FILLER FOR BEER

Author: Vagner Mateus Funck

Advisor: Mario Eduardo Santos Martins

Defense place and date: Santa Maria, December 14th, 2018

This following work presents the design and prototype of an automatic counterpressure filler for craft beers in growlers. Based on the waste of craft beer at bars and brewpubs when not applying the adequate method for filling growlers, this equipment was intended to avoid the waste, maintain the quality of the product and optimize the filling process for a modern and more efficient method. The fundamental mechanism of the equipment is based on controlling the difference between the beer keg pressure and the growler. For this purpose, the internal pressure of the growler is increased almost until the pressure of the keg, and, for that, the correct manipulation of the valves generates a small pressure difference so the beer flows from the keg to the growler. Therefore, the design and construction of the automatic counterpressure filler prototype were developed and the equipment presented the expected performance, fulfilling 3 of the 4 design requirements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento e destacamento de bolha em um líquido supersaturado. O sólido é molhado pelo líquido. A seta indica a direção de difusão do gás devido ao gradiente de pressão. Fonte: Lynch e Bamforth, 2002.....	14
Figura 2 - Barril de 50 litros fabricado com aço inox. Fonte: Mercado Livre.....	16
Figura 3 - <i>Growler</i> de vidro de 64 OZ.....	17
Figura 4 - Diagrama de Gantt das atividades.....	18
Figura 5 - Pegas Craftap Smart.....	19
Figura 6 - Micro Matic Growler Filler.	20
Figura 7 - Enchedor de contra pressão Lamas.	21
Figura 8 - Pegas NovoTap 2.0. Fonte: site pegas.....	22
Figura 9 - Pegas Beercase. Fonte: Site Pegas.	22
Figura 10 - Desenho esquemático da patente analisada para formulação de conceito.....	24
Figura 11 - Primeiro conceito de Sistema de Enchimento. Em (a) vê-se o cone deslocado do assento caracterizando a posição aberta da válvula e em (b) a posição fechada.	25
Figura 12 - Em (a) um primeiro conceito de fixação do tubo de cerveja. Em (b) encontra-se o conceito final do corpo do enchedor.....	26
Figura 13 - Primeiro conceito do sistema de movimentação utilizando uma plataforma pantográfica.....	26
Figura 14 - Segundo conceito do Sistema de Movimentação utilizando fusos para realizar a movimentação do cabeçote.....	27
Figura 15 - Sistema de enchimento. Fonte: Autor.....	28
Figura 16 - Válvula solenoide da cerveja. Fonte: Autor.....	30
Figura 17 - Acima a válvula 3/2 vias e abaixo a válvula 2/2 vias. Fonte: Autor.	30
Figura 18 - Válvula reguladora de vazão. Fonte: solucoesindustriais.com.br.	31
Figura 19 - Sistema de movimentação. Fonte: Autor.....	32

Figura 20 - Vista interna do Cabeçote de Movimentação.....	33
Figura 21 - Arduino Mega 2560. Fonte: Autor	36
Figura 22 - Flowmeter. Fonte: Autor.....	36
Figura 23 - Esquema de montagem dos acessórios ao enchedor de contrapressão.	38
Figura 25 - Esquema hidráulico e pneumático do equipamento.....	39
Figura 26 - Esquema de montagem do experimento para medir a força necessária para vedar o <i>growler</i>	40
Figura 27 - Esquema da distribuição de forças na haste para calcular a força de acoplamento.....	41
Figura 28 - Primeiro protótipo.....	45
Figura 29 - Escoamento incorreto da cerveja pelo tubo de CO ₂ e retorno pelo mesmo. Fonte: Autor.....	47
Figura 30 - Visão geral do segundo protótipo.....	49
Figura 31 - Molde para fabricação da vedação.	50
Figura 32 - Vedação já fixada ao acoplador.....	51
Figura 33 - Fusos e porcas.....	52
Figura 34 - Polias e correia.	53
Figura 35 - Detalhe de acoplamento do motor ao fuso.	54
Figura 36 - Datasheet do motor.....	54
Figura 37 - Cabeçote de movimentação.	55
Figura 38 - Pingador.....	56
Figura 39 - Tela Touchscreen 2.4"	58
Figura 40 - Fonte chaveada de 30 A.....	59
Figura 41 - Placa de relés 5v com 8 canais.....	59
Figura 42 - Detalhe das chapas de aço utilizadas para construir a parte frontal e superior do enchedor de contrapressão.....	60
Figura 43 - Detalhe de fixação da dobradiça.....	61

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 A cerveja	11
2.1.1 Histórico	11
2.1.2 Processo de formação da espuma	13
2.1.3 Armazenamento	15
2.1.4 Envase	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 Pré-Projeto	17
3.2 Projeto Informacional e Conceitual	18
3.2.1 Revisão do estado da arte	19
3.2.2 Definição de requisitos de projeto	23
3.2.3 Busca de patentes e formulação de conceito	24
3.3 Projeto Detalhado	28
3.3.1 Sistema de enchimento e purga	28
3.3.1.1 Corpo	29
3.3.1.2 Acoplador	29
3.3.1.3 Vedação	29
3.3.1.4 Tubo de CO ₂	29
3.3.1.5 Guia	29
3.3.1.6 Válvula solenoide da cerveja	30
3.3.1.7 Válvulas solenoides pneumáticas	30
3.3.1.8 Válvula de controle de vazão	31
3.3.1.9 Tubos e conexões	31
3.3.1.10 Manifold	31
3.3.2 Sistema de movimentação	32
3.3.2.1 Motor	32
3.3.2.2 Polias e correia	33
3.3.2.3 Fusos	33
3.3.2.4 Cabeçote de movimentação	33
3.3.2.4.1 Porcas	34
3.3.2.4.2 Chapa Metálica	34
3.3.2.4.3 Molas	34
3.3.2.4.4 Haste de deslizamento	34
3.3.2.4.5 Pingador	35
3.3.3 Sistema de controle	35
3.3.3.1 Placa de controle	35
3.3.3.2 Flowmeter	36
3.3.3.3 Sensores de posição do cabeçote enchedor	37
3.3.3.4 Sensor de acoplamento do cabeçote de movimentação	37
3.3.3.5 Tela sensível ao toque	37
3.4 Processo de Enchimento	38
3.5 Definições Mecânicas	40

3.5.1 Sistema de movimentação.....	40
3.5.1.1 Força de acoplamento	40
3.5.1.2 Torque dos fusos	41
3.5.1.3 Rotação dos fusos	42
3.5.1.4 Molas	43
4 PROTOTIPAGEM.....	44
4.1 Definição e fabricação do Primeiro Protótipo (Mock-Up).....	44
4.1.1 Sistema de Movimentação.....	44
4.1.1.1 Materiais utilizados e montagem	44
4.1.1.2 Problemas encontrados.....	45
4.1.2 Sistema de Enchimento	46
4.1.2.1 Materiais utilizados e montagem	46
4.1.2.2 Testes e problemas encontrados.....	47
4.1.3 Sistema Completo.....	48
4.2 Segundo protótipo.....	48
4.2.1 Sistema de Enchimento	49
4.2.1.1 Enchedor	49
4.2.1.2 Acoplador	49
4.2.1.3 Vedação	50
4.2.1.4 Guia.....	51
4.2.2 Sistema de Movimentação.....	51
4.2.2.1 Fusos.....	51
4.2.2.2 Mancais	52
4.2.2.3 Polias e correia	52
4.2.2.4 Motor	53
4.2.2.5 Cabeçote de movimentação	54
4.2.2.6 Pingador	55
4.2.3 Sistema de Controle	56
4.2.3.1 Arduino	56
4.2.3.2 Programação e componentes de controle	56
4.2.3.3 Tela.....	57
4.2.3.4 Fonte	58
4.2.3.5 Placa de relés.....	59
4.2.4 Carcaça	59
4.2.4.1 Chapas metálicas	59
4.2.4.2 Porta.....	60
5 RESULTADOS	62
6 CONCLUSÃO.....	66
7 PROPOSTAS DE MELHORIAS E TRABALHOS FUTUROS.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	72

1 INTRODUÇÃO

Com a popularização do mercado de cervejas artesanais, novas maneiras de consumo e comercialização estão surgindo, entre estas a opção de levar para casa a cerveja artesanal oferecida em bares e *Brewpubs*¹ através do envase em *growlers*². Porém ao envasar o *growler* sem o método adequado perde-se qualidade do produto final e ocorrem grandes desperdícios devido a formação de espuma, o que é agravado quando ocorre algum descuido por parte do sujeito que está fazendo o enchimento. O método conhecido como contrapressão permite realizar o envase de cerveja com a formação de pouquíssima espuma, evitando dessa maneira o desperdício e a perda de qualidade do produto.

Tendo em vista esse cenário, o objetivo deste trabalho é projetar e prototipar um equipamento que realize o enchimento de *growlers* de 1 e 1,89 litros (64 oz) de maneira automática, com contrapressão e que haja a possibilidade de acoplar até 20 barris de cerveja.

A espuma da cerveja é formada quando existe uma diferença de pressão muito grande entre o recipiente de armazenamento (barril) e o local para onde a cerveja será vasada (*growler*), pois dessa maneira o CO₂ difundido na cerveja tende a sair para o ambiente que está a uma pressão menor formando a espuma. O processo de contrapressão consiste basicamente em controlar a diferença de pressão entre o barril de cerveja e o *growler* fazendo com que a cerveja flua de um para outro de maneira lenta e controlada para não formar espuma.

Projetou-se o equipamento utilizando metodologias de projeto que envolvem o levantamento de informações de patentes e equipamentos já existentes, formulação de um conceito juntamente com os requisitos de projeto e o detalhamento dos seus componentes para a fabricação do protótipo.

Por fim testou-se o protótipo realizando uma série de enchimentos com e sem contrapressão para comparar o desempenho do equipamento, concluindo-se que o método de contrapressão aplicado pelo enchedor reduz o volume de espuma formado durante o enchimento, a automatização do processo torna o enchimento mais seguro

¹ *Brewpubs* são os bares que produzem a própria cerveja e a vendem no mesmo local.

² *Growler* é um recipiente de vidro, cerâmica ou alumínio que possui tampa de rosca ou presilha de vedação e serve para transportar a cerveja do bar ou *brewpub* para o local desejado.

e rápido, o acoplamento de 20 barris ao equipamento não pode ser concluído sendo sugerido como um trabalho futuro e a compatibilidade com *growlers* de diferentes tamanhos mostrou-se eficiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cerveja

2.1.1 Histórico

2.1.2 De acordo com Hornsey (2003) as primeiras evidências de produção e consumo de cerveja provém do Antigo Egito, no período Pré-dinástico (5500 – 3100 A.C.). Sedimentos de cerveja foram encontrados em jarros em um dos mais importantes cemitérios arqueológicos do Egito. Existem registros que dizem que a cerveja foi uma das bebidas mais importantes durante aquele período, fazendo parte da cultura local de diversas tribos. Algumas autoridades afirmam que a cerveja era mais comum entre os plebeus enquanto os ricos preferiam tomar vinho.

Anos mais tarde a cerveja passou a ser produzida onde hoje se localiza o Iraque. Nessa região é onde provavelmente surgiu a primeira “civilização”, os babilônicos, e segundo Andrew Sherrat (1997) é onde surgiu o desejo de ter uma agricultura organizada com irrigação, plantações, etc. Isso aconteceu por volta do 3º milênio antes de Cristo, e a cerveja produzida era bebida por todas as classes sociais da comunidade, incluindo as mulheres, sendo sinônimo de felicidade e vida civilizada, bem como também estava associada a mitologia, religião e medicina. Foi nessa época também que o processo de produção começou a se tornar melhor e pode-se observar a produção de diversos tipos de cerveja, tais como: “black beer”, “red beer”, “barley beer”, “spelt beer”, etc.

Através de viajantes e comerciantes, a cerveja se espalhou partindo do Egito para a Grécia, e da Grécia para o restante da Europa, segundo Toussaint-Samat (1992):

“The Egyptians followed in the footsteps of the Babylonians, and using scientific methods they became such famous brewers that their exported beer

(called zythos), especially the beer made at Pelusa, was very popular with the Athenians. The Greeks brought beer to Gaul, Spain and the east coast of the Adriatic through their trade. From Illyria to the heart of Germania, beer spread very fast and became very popular. ”

Por volta de 55 A.C. a cerveja chegou ao norte da Europa através dos Romanos e se popularizou devido à grande dificuldade de produzir vinho naquela região, pois o clima mais frio não era propício para o plantio de uva. O vinho era bastante caro pois era importado de regiões mais ao sul da Europa, por isso a cerveja se tornou uma alternativa mais viável para pessoas de classes mais baixas da sociedade.

Segundo Hornsey (2003) foi na Holanda, durante a Idade Média, que iniciou-se a produção de cerveja lupulada quando começou-se a misturar outros ingredientes a cerveja buscando sabores específicos e outros atributos característicos. Nessa época haviam monastérios que produziam cerveja em grande quantidade, em contrapartida aos pequenos agricultores locais, e descobriu-se que o lúpulo possuía propriedades que conservavam a cerveja fresca por mais tempo ao mesmo tempo que agregava um sabor diferenciado. Os monastérios holandeses também foram os pioneiros a cobrar impostos sobre a cerveja, o que contribuiu no desenvolvimento das cidades maiores do país.

Mais tarde, no século XIII, Pubs e monastérios alemães começaram a produzir cerveja em grande escala para consumo em massa, o que necessitou uma organização maior entre esses produtores que produziam a cerveja somente com os membros da família, para então passarem a ter 10 ou mais funcionários trabalhando nas primeiras fabricas artesanais de cerveja. Com o intuito de exportar a cerveja, começou-se também um movimento de padronização de barris e embalagens, o que mais tarde foi copiado por Holandeses e Ingleses.

Em 1516 Willian IV, duque de Bavária, instituiu a Lei da Pureza da Cerveja que dizia que a cerveja deveria ser fabricada apenas com água, malte de cevada e lúpulo. Nessa época a levedura ainda não era conhecida, porém foi adicionada a lei de pureza depois das descobertas de Louis Pasteur em 1857 (Wikipédia).

Com a revolução industrial é que as indústrias cervejeiras se tornaram realidade. Instrumentos de medição de temperatura e densidade foram descobertos e pode-se desenvolver muito o processo de produção de cerveja, melhorando a sua eficiência e diminuindo as diferenças de sabor entre cada lote produzido.

Em 1817 Daniel Wheeler inventou e patenteou um torrador de tambor que tornou possível torrar o malte para produzir Cervejas como as Porters e as Stouts.

Atualmente o mercado da cerveja é mundial, composto por empresas multinacionais e pequenos produtores espalhados entre produtores independentes, clubes de cervejeiros e microcervejarias. Avanços na refrigeração e no transporte intercontinental permitiram que os consumidores tivessem acesso a praticamente qualquer estilo de cerveja de qualquer parte do mundo, assim como insumos para produzi-las em sua própria casa. Por isso que alguns produtores evitam utilizar novas tecnologias na produção de algumas cervejas especiais para garantir a exclusividade dos seus produtos e, desta maneira, manter a tradição herdada de muitas gerações anteriores.

2.1.3 Processo de formação da espuma

A aparência e a percepção de sabor que o consumidor tem sobre uma cerveja está diretamente ligada a qualidade da formação da espuma. Segundo Bamforth (2000) a formação da espuma influencia diversos fatores como a percepção do nível de carbonatação, temperatura, viscosidade, sabor e odor da cerveja. Ono (1983) apresenta dados que mostram que cervejas com diferentes coroas de espuma recebem diferentes avaliações em testes de degustação, portanto a qualidade da espuma diz muito sobre a qualidade da cerveja.

A espuma é formada pela nucleação do dióxido de carbono dissolvido no líquido (LYNCH, 2002). A nucleação acontece quando o CO₂ encontra um site de formação de bolhas, que é qualquer irregularidade no recipiente de armazenamento ou até mesmo o local onde uma bolha prévia se soltou causando uma turbulência no líquido, e cresce até atingir um determinado tamanho que o gás no seu interior possua força suficiente de empuxo para subir até a superfície. Ao subir, essa bolha carrega junto resíduos hidrofóbicos da cerveja como proteínas, fermento e lúpulo até a superfície do líquido, o que forma uma cadeia complexa de bolhas que é a espuma propriamente dita.

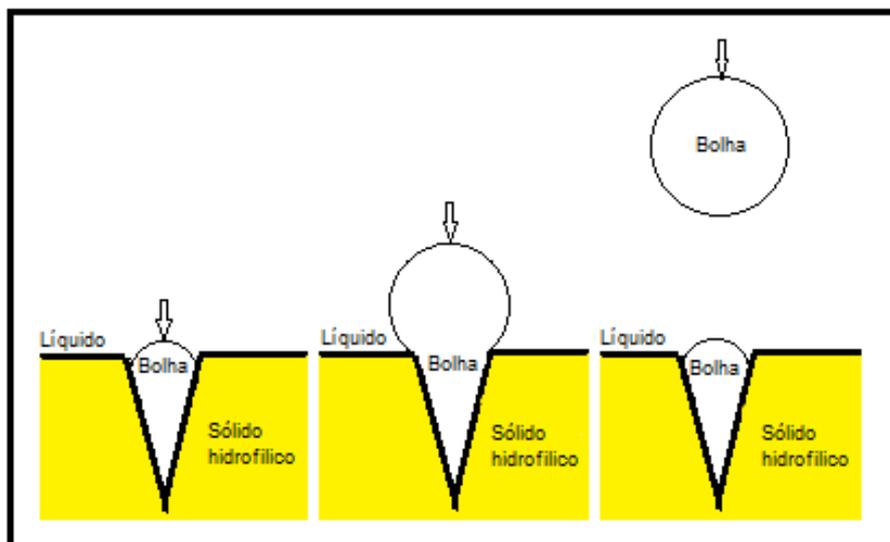


Figura 1 - Crescimento e descolamento de bolha em um líquido supersaturado. O sólido é molhado pelo líquido. A seta indica a direção de difusão do gás devido ao gradiente de pressão. Fonte: Lynch e Bamforth, 2002.

Segundo Lynch e Bamforth (2002), existem 4 fatores físico-químicos principais que afetam a taxa de formação de bolhas na cerveja: densidade, tensão superficial da cerveja, o coeficiente de difusão de dióxido de carbono e a quantidade de CO_2 dissolvido na cerveja. A densidade determina a quantidade de açúcar formado no processo de brassagem, o qual se transformará em álcool depois da fermentação. A tensão superficial é a força com as quais as moléculas do líquido estão ligadas, ou seja, quanto maior a tensão superficial mais difícil será a formação de bolhas na superfície pois as moléculas estarão mais unidas dificultando a atividade de nucleação. O coeficiente de difusão de CO_2 é a quantidade de gás que o líquido admite até se tornar saturado, portanto quanto maior o coeficiente, mais CO_2 pode ser dissolvido no líquido, aumentando a oferta de gás carbônico para formar espuma. Já a quantidade de CO_2 é efetivamente o quanto está contido no líquido em determinado momento.

Além desses 4 fatores físico-químicos da cerveja, existem diversos outros fatores externos que contribuem para a formação da espuma na cerveja no momento do envase, como é o caso da diferença de pressão entre o barril e a garrafa, a temperatura da cerveja e da garrafa, a vasão, etc.

Quanto maior a temperatura da cerveja, mais excitada estarão as suas moléculas, diminuindo a força de ativação necessária para formar as bolhas. Da mesma maneira que a temperatura, quanto maior a vasão de envase, maior a

formação de espuma pois com o aumento da vazão aumenta-se a turbulência dentro do fluido, fazendo com que mais sites de nucleação sejam formados e conseqüentemente mais espuma.

A diferença de pressão é o fator externo que mais contribui para a formação da espuma na cerveja, pois ela facilita a saída do CO₂ dissolvido no líquido para o ambiente. Ao realizar o envase, passamos a cerveja de um barril com uma pressão elevada, devida a formação de CO₂ proveniente da fermentação, para uma garrafa que está a pressão ambiente. Essa diferença de pressão faz com que o gás carbônico queira sair muito rapidamente do líquido para o ambiente, criando assim uma grande quantidade de bolhas que por sua vez criam outros sites de nucleação até chegar a uma reação em cadeia. Dessa maneira a garrafa é preenchida muito rapidamente com espuma, não sendo possível realizar o enchimento adequado da mesma.

É justamente nesse ponto em que atua o enchedor de contrapressão, regulando a pressão entre o barril e a garrafa e criando uma diferença de pressão pequena que irá ser suficiente somente para que a cerveja saia do barril e entre na garrafa sem espumar.

2.1.4 Armazenamento

A cerveja produzida pelo cervejeiro artesanal normalmente é armazenada em barris, também conhecidos com *kegs*. Esses barris variam de tamanho e material podendo-se encontrá-los com volumes de 5 até 50 litros, de alumínio ou aço inoxidável (Infopedia).

Todos eles possuem uma válvula de retenção que mantém a pressão dentro do barril constante e permite que o CO₂ se dissolva na cerveja. Normalmente a pressão dentro do barril varia entre 3 e 6 bar, dependendo o tipo de cerveja, porém na hora do envase ela é ajustada para manter-se pouco abaixo de 2 bar com a finalidade de diminuir a probabilidade de espumar.



Figura 2 - Barril de 50 litros fabricado com aço inox. Fonte: Mercado Livre.

2.1.5 Envase

O foco deste trabalho é o envasamento de cerveja em growlers de 64 oz (1,89 litros), portanto, como definição (Infopedia), o *growler* é um recipiente de vidro, cerâmica ou alumínio que possui tampa de rosca ou presilha. Esse modelo de tampa evita a perda de gás carbônico, conservando assim, por alguns dias, todo o frescor e sabor da bebida com a mesma qualidade que ela saiu do barril.

Uma das grandes vantagens do *growler* é que ele é reutilizável, basta lavá-lo após cada uso e enchê-lo novamente. Normalmente os *growlers* de vidro são fabricados com vidro âmbar para proteger a cerveja da influência da luz, da mesma maneira que os de alumínio e cerâmica fazem por serem opacos.

Existem *growlers* de diversos tamanhos e formatos. Os mais comuns encontrados são com 1, 2 ou 3 litros, e no sistema inglês, 32 e 64 oz (0,94 e 1,89 litros).



Figura 3 - *Growler* de vidro de 64 OZ.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Pré-Projeto

Segundo Romano (2003) a primeira etapa é o pré-projeto onde se planeja e se detalha o escopo, e se estima a sequência e duração das atividades.

Para tal visitou-se cervejarias locais para visualizar o processo de enchimento aplicado e perceber quais as necessidades desses clientes. Uma das cervejarias não realizava o processo de enchimento com contrapressão, o que resultava em um desperdício de aproximadamente 20% para o envase de um *growler*. Através de entrevistas com esses clientes, definiu-se o escopo de projeto:

- 1 – Evitar o desperdício de cerveja artesanal;
- 2 – Evitar erros por parte do operador;
- 3 – Produto atraente e de fácil utilização, que traga agilidade e precisão de enchimento;
- 4 – Versatilidade de opções de cerveja;
- 5 – Compatibilidade com os mais variados tipos de *growlers*.

Para estimar o tempo necessário de realização do projeto utilizou-se como limitante o período letivo da Universidade Federal de Santa Maria, segundo o qual ao

fim do semestre realiza-se a apresentação do projeto completo, porém devido a necessidade de mais tempo para finalizar o protótipo, essa previsão de duração das atividades foi revista e estendida em um semestre. O resultado final do planejamento de atividades pode ser conferido na Figura 4.

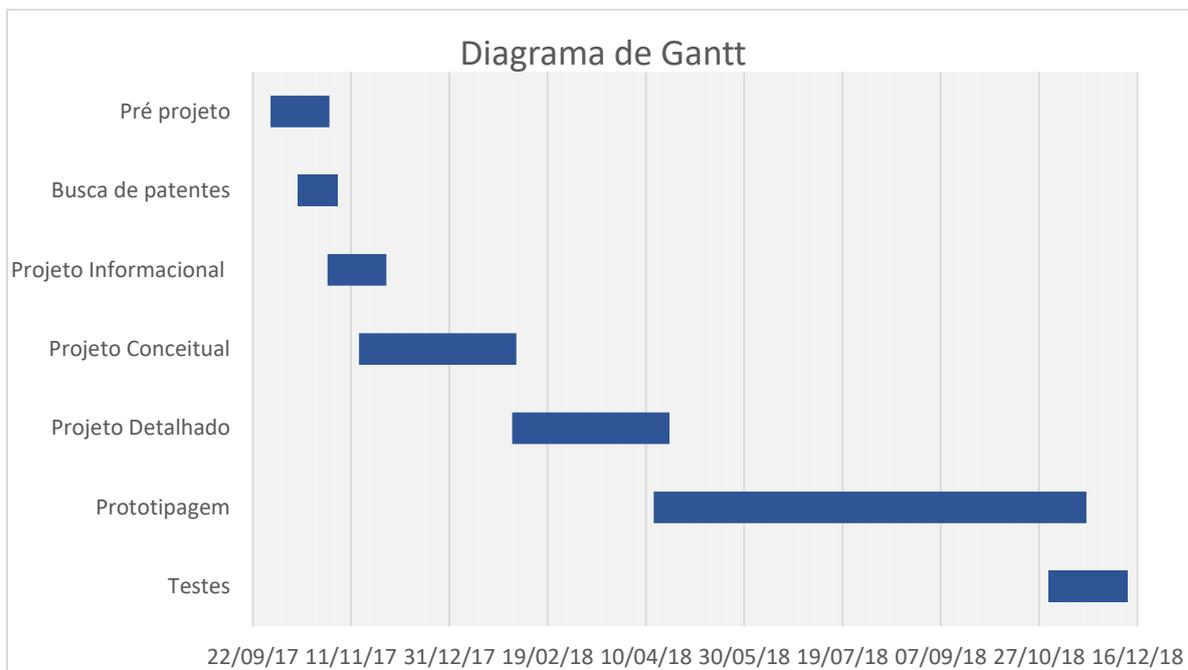


Figura 4 - Diagrama de Gantt das atividades.

Percebe-se pelo Diagrama de Gantt que houve uma grande demanda de tempo para a construção do protótipo, visto que diversos problemas podem acontecer nessa etapa do projeto pois é o momento que se percebe alguns erros e se tem a possibilidade de corrigi-los.

3.2 Projeto Informacional e Conceitual

Para entender como é o funcionamento desse tipo de equipamento, as limitações, possibilidades, exigências e principalmente para ter inspiração na criação de um conceito, realizou-se uma revisão do estado da arte e uma busca de patentes para reunir o máximo de informações possíveis a fim de compreender o equipamento e o processo que se deseja realizar e então formatar de maneira satisfatória um conceito de produto.

3.2.1 Revisão do estado da arte

Realizou-se uma ampla pesquisa dos produtos já comercializados no mercado nacional e internacional.

A visão geral que se tem de diversos produtos encontrados no mercado atualmente é de uma máquina grande, complicada e que necessita muito da atenção do operador. O operador normalmente precisa posicionar a garrafa no enchedor, acoplá-la ao bico injetor, manipular as válvulas de injeção e descarga de CO₂ e as válvulas de enchimento da cerveja. Ou seja, qualquer descuido pode resultar em algum problema no enchimento da garrafa.

Existem algumas marcas que se destacam pela qualidade de seus produtos e inovação, por exemplo a Pegas e a Micro Matic. Recentemente a Pegas lançou um novo produto no mercado chamado Pegas Crafttap Smart que tem como novidade do seu antecessor, o Pegas Crafttap 3.0, a automatização do seu sistema de enchimento. Há a possibilidade de selecionar o volume da garrafa entre os 3 tipos mais comuns, programar a velocidade de vazão da cerveja e do suprimento de CO₂ e ainda encher 6 tipos diferentes de cerveja em um só equipamento. Possui ainda conexão com a internet para programar o enchimento de *growlers* pelo aplicativo da Pegas.



Figura 5 - Pegas Crafttap Smart.

O Micro Matic Growler Filler é outro equipamento bastante moderno que se destaca por ser completamente automatizado, tanto o acoplamento da garrafa no bico

injetor quanto o enchimento, sendo necessário somente que o operador entre com informações como o volume e o tipo de cerveja em um painel digital Touch Screen. Esse equipamento conta também com 4 linhas de enchimento e ajuste automático da pressão e velocidade de enchimento.

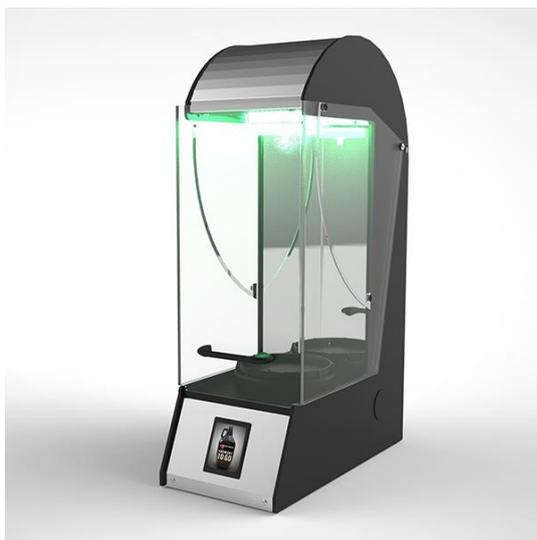


Figura 6 - Micro Matic Growler Filler.

Dentre os produtos mais simples que existem no mercado para encher garrafas com contrapressão está o enchedor da Lamas que é um produto muito barato e que atende a demanda do cervejeiro que produz sua cerveja em casa e a consome com os amigos. O principal ponto positivo é o seu preço, porém existem diversos pontos negativos como: a dificuldade em manuseá-lo na hora do enchimento por não possuir um suporte que o mantenha, sendo necessário que o operador o segure acoplado na garrafa ao mesmo tempo que manipula as válvulas manuais de operação; a rolha de acoplamento é cônica gerando o chamado efeito de cunha que prende o enchedor na garrafa fazendo com que o operador tenha que fazer muita força para desacoplar a garrafa; existe um tubo que guia a cerveja até o fundo da garrafa, o que muitas vezes atrapalha na hora de manusear o equipamento porque este é muito longo e precisa ser encaixado na ponta da garrafa.



Figura 7 - Enchedor de contra pressão Lamas.

Um outro equipamento interessante é o Pegas NovoTap 2.0 produzido para enchimento de garrafas e *growlers* de PET. Porém o que há de mais interessante nesse produto é o suporte que a Pegas inventou para que qualquer tipo de growler de vidro pudesse ser acoplado a esse equipamento de encher garrafas PET. É o chamado Pegas Beer Case, que nada mais é que um invólucro plástico para colocar o *growler* dentro e acoplar no NovoTap 2.0. Além dessa grande vantagem, esse invólucro serve como uma proteção contra explosões de *growlers* e garrafas.

As desvantagens que esse equipamento possui é a insegurança de manter o growler pendurado no NovoTap 2.0 somente pelo bico, necessitando um cuidado maior na hora de acoplá-lo e desacoplá-lo; este equipamento também não foi pensado para growlers que possuem alça de vidro para transporte, pois este não pode ser colocado corretamente dentro do Beer Case.



Figura 8 - Pegas NovoTap 2.0. Fonte: site pegas.



Figura 9 - Pegas Beercase. Fonte: Site Pegas.

Todos os equipamentos apresentados influenciaram de alguma forma na escolha do conceito deste projeto. O fato de a Micro Matic e a Pegas não utilizarem um tubo para conduzir a cerveja até o fundo da garrafa revelou que o equipamento fica muito mais bonito e eficiente se utilizar um sistema que conduza a cerveja pelas laterais da garrafa até o fundo. Isso também pode ser averiguado no enchedor da Lamas quando se vê o cervejeiro enchendo suas garrafas com dificuldade ao ter que encaixar o tubo no bico da mesma.

A rolha de acoplamento cônica do enchedor da Lamas é um grande problema, pois a garrafa pode ficar presa depois de cheia e ser um incômodo para o operador. Por isso uma das soluções seria utilizar um acoplamento com uma superfície plana ou até mesmo com um cone invertido, evitando dessa maneira o efeito cunha.

O equipamento da Micro Matic mostra que o ideal para a operação é que o sucesso do enchimento não dependa do operador, pois este sempre corre o risco de cometer algum erro. Automatizando todo o processo pode-se garantir um enchimento mais eficiente e sem erros, trazendo assim segurança para o consumidor.

Já o Pegas NovoTap 2.0 demonstra insegurança ao deixar a garrafa pendurada pelo bico durante o enchimento, mostrando que é necessário que o enchedor possua um suporte para a garrafa e uma cabine de proteção contra explosão de *growlers* que, eventualmente, acontecem quando há algum defeito em sua estrutura como pequenas trincas.

3.2.2 Definição de requisitos de projeto

Tendo em vista o escopo de projeto e os equipamentos já oferecidos no mercado, desenvolveu-se os requisitos de projeto com o intuito de oferecer ao consumidor um equipamento com grande tecnologia embarcada e que ofereça maior versatilidade no seu uso. Isso foi feito melhorando-se as limitações que todos os equipamentos pesquisados possuem e agregando-se o que cada um tem de ponto positivo.

Inicialmente a ideia era produzir um equipamento que fosse feito para os cervejeiros caseiros, porém percebeu-se durante o processo de desenvolvimento que por ter um alto grau de automatização o equipamento foge do escopo desejado por um cervejeiro caseiro, que é o de ser simples e barato. Portanto o cliente final do enchedor de contrapressão mudou de cervejeiro caseiro para comerciantes donos de bares de cerveja artesanal e *brewpubs*.

Desta maneira, abaixo encontram-se os 4 requisitos de projeto:

- 1 – Projetar e prototipar um equipamento para realizar o enchimento de *Growlers* com contrapressão;
- 2 – O processo deve ser totalmente automático;
- 3 – O equipamento deve ter entrada para 20 barris de cerveja;

4 – Ser compatível com *growlers* de 64 oz e 1 litro.

3.2.3 Busca de patentes e formulação de conceito

Com o intuito de conhecer algumas concepções de produto já existentes no mercado e ao mesmo tempo ter inspiração para criar o enchedor de contrapressão, realizou-se uma ampla pesquisa de patentes, inicialmente no Google e mais tarde na plataforma de pesquisa de patentes Orbit.

Nas primeiras análises de patentes focou-se no sistema de enchimento com o qual buscava-se encontrar um meio apropriado de conectar o barril a garrafa. Siedermann (2002), uma das patentes analisadas, propunha uma espécie de cilindro pneumático que possuía um tubo interno na haste para conectar a garrafa ao suprimento e purga de CO₂, enquanto a abertura para vazão do líquido era feita manipulando o cilindro pneumático para afastar o corpo de uma válvula de um assento. O equipamento em questão visa grande fábricas, portanto o líquido que é envasado chega até o bico injetor por meio da gravidade e o CO₂ utilizado sempre retorna para o tanque de abastecimento após a pressurização e purga da garrafa.

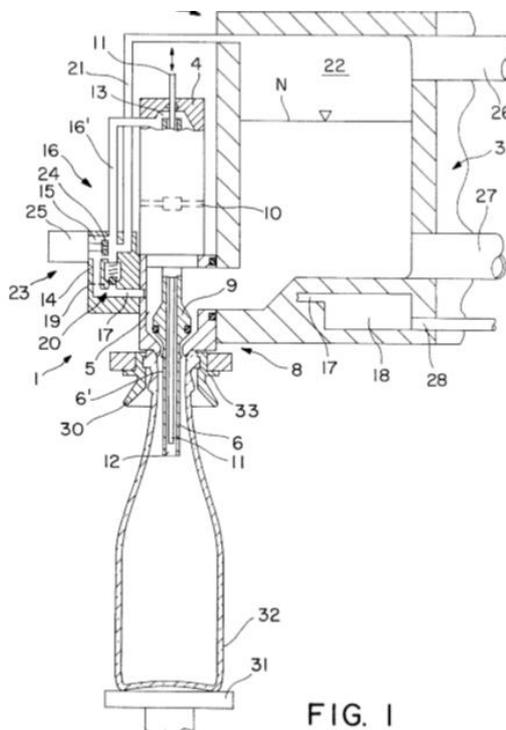


Figura 10 - Desenho esquemático da patente analisada para formulação de conceito. Fonte: Siedermann (2002).

Buscou-se através dessa patente um meio de construir um conceito em que o tubo de CO₂ fosse ao mesmo tempo o componente para suprir e purgar CO₂ e também uma haste que manipula um acento cônico para fechar e abrir a passagem de líquido. Na Figura 11 observa-se um desenho do conceito.

Este conceito falhou por diversos aspectos, entre eles a dificuldade de manipular o tubo de CO₂ para que este funcionasse como uma válvula, pois o tubo é frágil e não é feito para transmitir força, a dificuldade de acoplar algum dispositivo que transmitisse a força, a necessidade de diversas vedações para realizar a selamento da câmara de enchimento com o tubo, a dificuldade de realizar a vedação do próprio cone, etc.

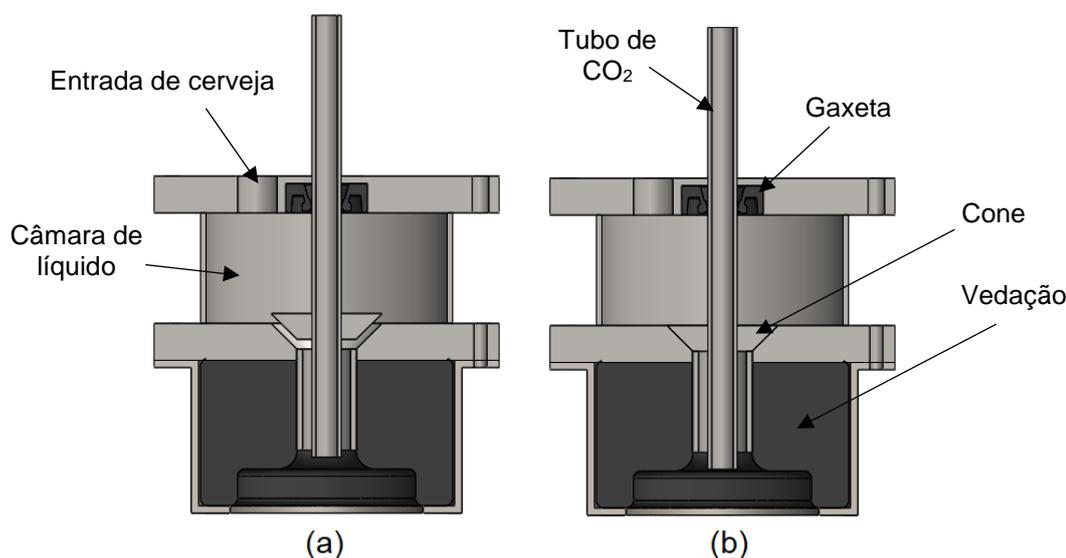


Figura 11 - Primeiro conceito de Sistema de Enchimento. Em (a) vê-se o cone deslocado do assento caracterizando a posição aberta da válvula e em (b) a posição fechada.

A partir deste primeiro conceito desenvolveu-se diversos outros até obter-se a configuração final para o Sistema de Enchimento. Devido a inviabilidade de utilizar-se o conceito da Figura 11, optou-se por uma solução mais simples envolvendo uma válvula solenoide comercial de 2/2 vias para controlar o fluxo de cerveja. Sendo assim elaborou-se conceitos de construção para fixar a tubulação de cerveja e de CO₂ de tal maneira que o processo de contrapressão pudesse ser realizado. Na Figura 12 observam-se 2 conceitos para fixação da tubulação de cerveja.

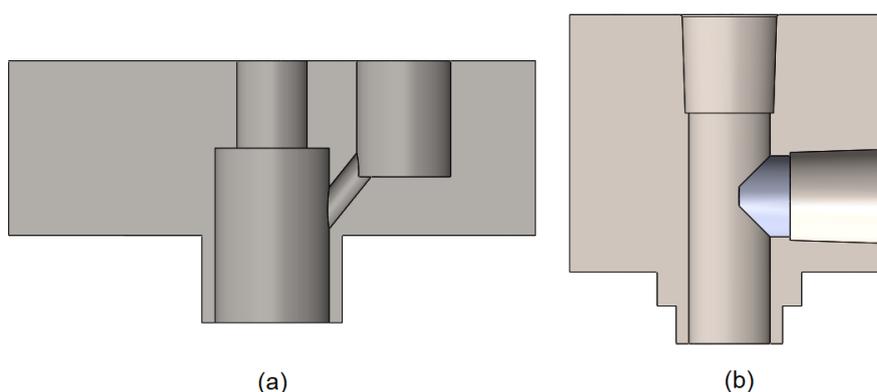


Figura 12 - Em (a) um primeiro conceito de fixação do tubo de cerveja. Em (b) encontra-se o conceito final do corpo do enchedor.

Desejava-se inicialmente realizar a fixação do tubo de cerveja pela parte superior do corpo do enchedor, porém essa opção tornava o processo de fabricação extremamente complicado e impreciso, por isso optou-se por acoplar o tubo pela lateral do corpo do enchedor.

Para o Sistema de movimentação buscou-se inicialmente montar um conceito que fosse manual, mas que houvesse a possibilidade de posteriormente automatizá-lo.

Dessa maneira o primeiro conceito desenvolvido consistia em uma plataforma conectada a uma plataforma pantográfica que era manipulada por uma manivela cuja qual seria acoplada uma catraca para manter a força de acoplamento. Para automatizar o processo desejava-se acrescentar um motor para impor o torque necessário de elevação e acoplamento.

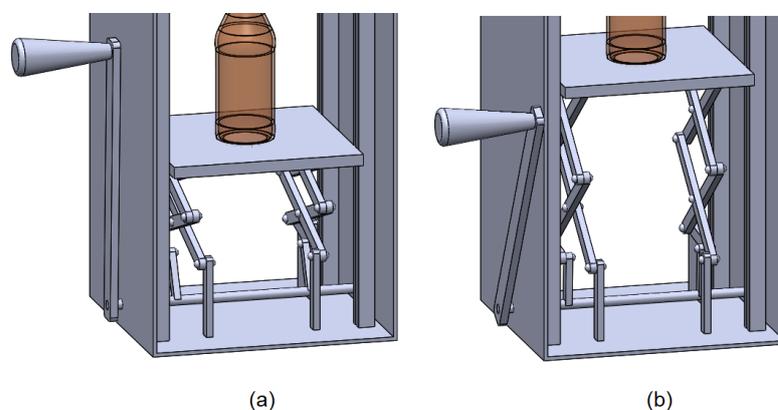


Figura 13 - Primeiro conceito do sistema de movimentação utilizando uma plataforma pantográfica.

Construiu-se o conceito dessa maneira pois desejava-se obter um sistema que fosse pequeno, mas que possuísse um longo alcance para poder contemplar *growlers* de 1,89 litros (64 oz) e 1 litro.

Este conceito não foi escolhido por diversos fatores: o sistema se tornava muito instável quando submetido a uma força, necessitaria de um cuidado com as guias de movimentação para não ocorrer travamento da plataforma, o movimento da manivela não seria ergonômico, possuía muitas partes móveis, havia uma grande dificuldade na distribuição das forças e o equipamento necessitaria ser parafusado a uma bancada para que a manivela pudesse ser puxada.

Por isso desenvolveu-se um segundo conceito de movimentação feito com fusos laterais que ao girarem em sincronia movimentam o sistema e realizam o acoplamento. Havia inicialmente uma dúvida em realizar a movimentação da garrafa ou do cabeçote onde vai acoplado o sistema de enchimento, pois escolhendo-se a primeira opção poderia tornar o sistema instável devido a pequenas variações de posicionamento da garrafa que gerariam um momento de inércia elevado na estrutura, e a segunda opção a tubulação ficaria exposta ao usuário final, o que era indesejado esteticamente.

Optou-se por movimentar o cabeçote por ser a opção mais segura e também porque as tubulações poderiam ser escondidas pela própria carcaça do equipamento.

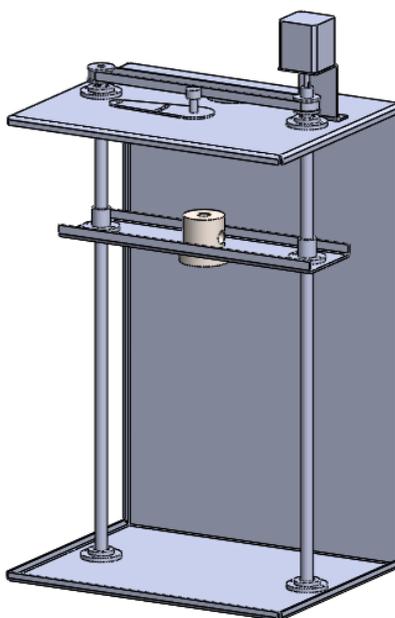


Figura 14 - Segundo conceito do Sistema de Movimentação utilizando fusos para realizar a movimentação do cabeçote.

Utilizando fusos para movimentar o cabeçote tem-se a segurança de que o sistema é robusto e pode empregar a força de acoplamento com segurança, visto que os fusos são elementos próprios para a transmissão de força. Outra vantagem é que se pode usar qualquer tamanho de *growler* desde que dentro dos limites equipamento, pois o cabeçote pode atingir qualquer altura de garrafa, uma vez que os fusos transpassam toda a área de enchimento dentro do equipamento.

3.3 Projeto Detalhado

Para o desenvolvimento do enchedor de contrapressão foram utilizados diversos elementos que unidos de maneira adequada formam o equipamento em si. A seguir estão descritos os componentes utilizados.

3.3.1 Sistema de enchimento e purga

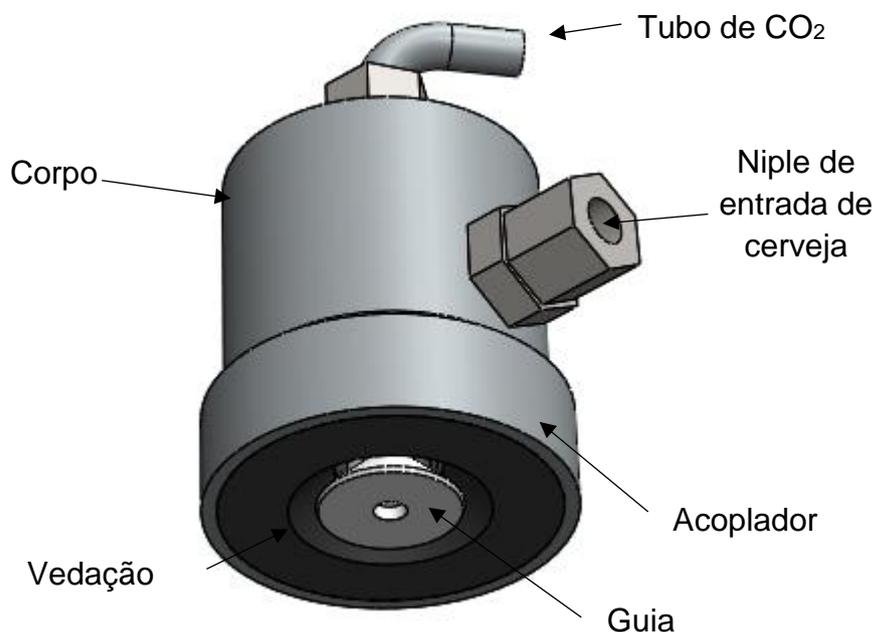


Figura 15 - Sistema de enchimento. Fonte: Autor

O sistema de enchimento é o sistema principal do enchedor de contrapressão. É ele o responsável por conectar a garrafa ao barril e tornar possível o enchimento. O enchedor é composto pelos itens mencionados a seguir:

3.3.1.1 Corpo

O corpo do enchedor é onde irá conectado a tubulação de cerveja com todos os elementos de controle de vazão, e o cilindro de CO₂ com as suas válvulas de controle.

3.3.1.2 Acoplador

O acoplador é o elemento que irá fixar o corpo do enchedor no cabeçote de movimentação, bem como suportar a vedação que fará o contato com a garrafa para vedá-la.

3.3.1.3 Vedação

A vedação é colada ao acoplador e serve para vedar o bico da garrafa enquanto o enchimento é feito. A vedação precisa ser de um material elástico que suporte a força do bico da garrafa contra ela, consiga manter a estanqueidade da garrafa e que seja atóxica.

3.3.1.4 Tubo de CO₂

O tubo de CO₂ é o responsável por levar o CO₂ do cilindro para dentro da garrafa. Essa operação equilibra a pressão do barril de cerveja com a pressão *growler* e torna possível o enchimento com contrapressão. Ele é acoplado ao enchedor através de um Niple de Inox na parte superior do corpo do enchedor.

3.3.1.5 Guia

O guia é uma peça em formato cônico acoplado a ponta do tubo de CO₂ e serve para guiar a cerveja que vem do corpo do enchedor até as paredes da garrafa impedindo que esta retorne pelo tubo de CO₂.

3.3.1.6 Válvula solenoide da cerveja

Escolheu-se para este projeto uma válvula de 2 vias e 2 posições normalmente fechada, de ¼" com acionamento por solenoide de 12V. Por se tratar de cerveja que é um fluido alimentício, o corpo da válvula precisa ser em aço inox 304 com vedações em NBR.



Figura 16 - Válvula solenoide da cerveja. Fonte: Autor.

3.3.1.7 Válvulas solenoides pneumáticas

As válvulas solenoides pneumáticas são responsáveis por controlar o fluxo de CO₂ que entra e sai do *growler*. Selecionou-se para esse projeto uma válvula de 3 vias e 2 posições e outra 2 vias e 2 posições, acionada por solenoide com retorno por mola.



Figura 17 - Acima a válvula 3/2 vias e abaixo a válvula 2/2 vias. Fonte: Autor.

3.3.1.8 Válvula de controle de vazão

Esta válvula é instalada na saída do fluxo de CO₂ da válvula solenoide pneumática. Ela é responsável por manter o fluxo de saída de CO₂ de dentro da garrafa constante, dessa maneira a pressão dentro da garrafa mantém-se a mesma enquanto ela é preenchida com cerveja, evitando a formação de espuma.



Figura 18 - Válvula reguladora de vazão. Fonte: solucoesindustriais.com.br.

3.3.1.9 Tubos e conexões

Padronizou-se em ¼" os diâmetros das mangueiras e as roscas das conexões de engate rápido dos elementos que guiam a cerveja até o corpo do enchedor, sendo que todos esses elementos devem ser produzidos em material atóxico como aço Inox ou polímeros. Escolheu-se os tubos com menor diâmetro possível para ocupar o menor espaço possível dentro do equipamento.

Para o sistema pneumático padronizou-se em 6mm as mangueiras pneumáticas e as conexões com rosca ¼", apesar de a entrada de CO₂ no equipamento ser com uma mangueira de 8mm. Logo na entrada há uma redução de 8mm para 6mm pois optou-se por mangueiras com um diâmetro menor por serem mais fáceis de manusear e ocuparem menos espaço.

3.3.1.10 Manifold

O Manifold é um conjunto de válvulas que serve para direcionar a cerveja de diversos barris para uma mangueira principal que a conduz até o enchedor de contrapressão. Este equipamento ajuda a reduzir o número de linhas de cerveja que seriam necessárias para ter tantas opções de cerveja em um só equipamento.

Um dos requisitos de projeto é que o enchedor tenha entrada para 20 linhas de cerveja mais uma de água que serve para fazer a limpeza da linha após a troca de cerveja ou antes de a máquina ser desligada.

3.3.2 Sistema de movimentação

O sistema de movimentação é o responsável por acoplar o enchedor ao *growler*. Ele fará a movimentação do cabeçote de movimentação até o bico do *growler* e será responsável por manter a força de acoplamento para que o CO₂ pressurizado dentro da garrafa não escape para o exterior.

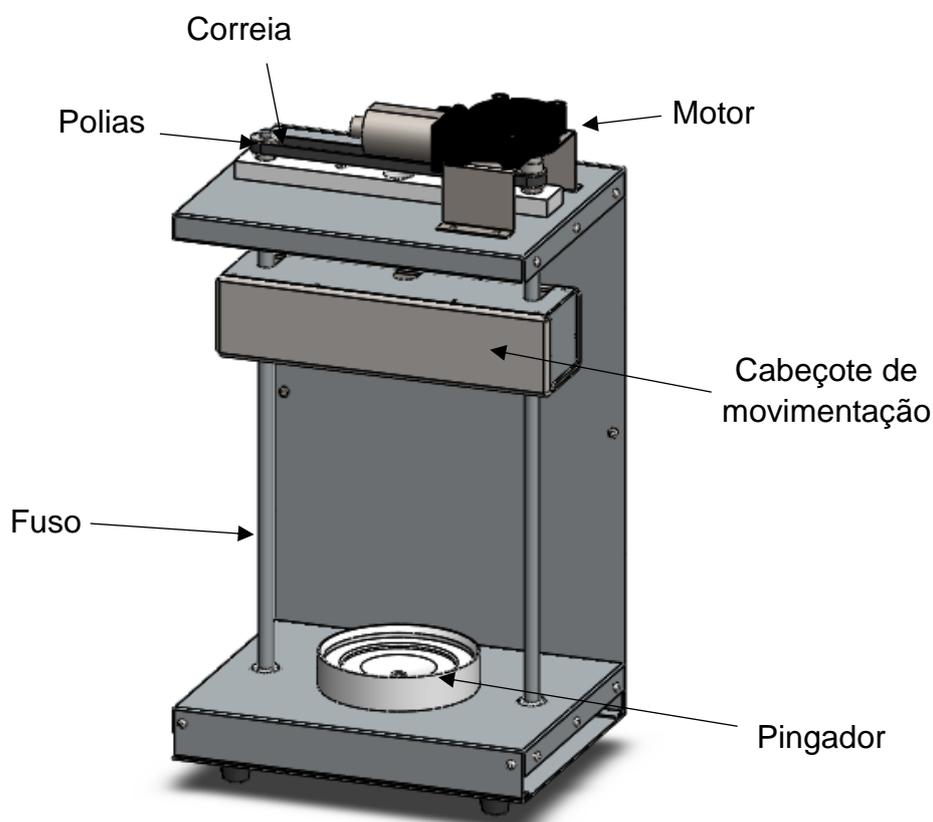


Figura 19 - Sistema de movimentação. Fonte: Autor

O sistema de movimentação é formado pelos seguintes componentes:

3.3.2.1 Motor

O motor é o elemento que empregará o movimento rotativo em ambos os fusos. Ele é o responsável por transmitir a força necessária para que o cabeçote de

movimentação se movimenta para cima e para baixo e prenda a garrafa na vedação do enchedor, promovendo dessa maneira a vedação total da garrafa.

3.3.2.2 Polias e correia

As polias e a correia são responsáveis por transmitir o movimento do motor para os fusos. Elas precisam ser do tipo sincronizadora para que a velocidade de rotação em ambos os eixos seja a mesma, pois dessa maneira garante-se que o cabeçote irá se movimentar com a mesma velocidade e a mesma distância em ambos os fusos.

3.3.2.3 Fusos

Os fusos são responsáveis por movimentar o cabeçote de movimentação e manter a força de acoplamento com a garrafa.

3.3.2.4 Cabeçote de movimentação

É o elemento que suporta o enchedor e seus elementos de controle. Ele também é responsável por transferir a força dos fusos para o acoplamento com a garrafa.

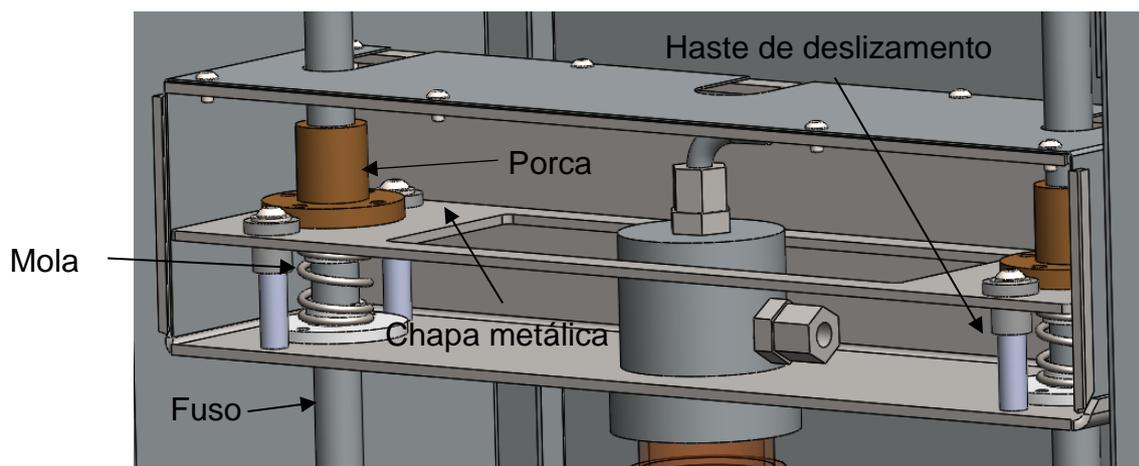


Figura 20 - Vista interna do Cabeçote de Movimentação.

3.3.2.4.1 Porcas

As porcas são os elementos que fazem a ligação entre os fusos e o cabeçote de movimentação. As porcas transformam o movimento circular dos fusos em movimento linear, tornando possível a movimentação do cabeçote. Elas são fabricadas em bronze, um material mais macio que o aço Inox, para que a movimentação possua menos atrito e desgaste ao longo do tempo.

3.3.2.4.2 Chapa Metálica

A chapa metálica é o elemento que recebe a força aplicada pelos fusos e transmite essa força para o cabeçote de movimentação. A chapa metálica mantém as duas porcas alinhadas linearmente para que o cabeçote se movimente sempre nivelado.

3.3.2.4.3 Molas

As molas transmitem a força aplicada sobre a chapa metálica para o cabeçote de movimentação e dão a calibragem da força de acoplamento no *growler*. Tendo o coeficiente de deformação linear e a deformação da mola é possível calcular a força aplicada sobre o cabeçote.

3.3.2.4.4 Haste de deslizamento

As hastes de deslizamento mantêm o cabeçote de movimentação preso e alinhado a chapa metálica e mantêm uma pré-carga nas molas para que o alinhamento seja mais preciso. Quando ocorre o toque do cabeçote de movimentação no *growler*, a chapa metálica segue baixando e comprimindo as molas até que a força de acoplamento necessária seja atingida. Durante esse movimento a chapa metálica desliza pelas hastes de deslizamento e mantêm o cabeçote de movimentação alinhado ao *growler*.

3.3.2.4.5 Pingador

O pingador possui uma dupla função no equipamento. A primeira delas é posicionar o *growler* corretamente para que o mesmo fique perfeitamente alinhado ao cabeçote de movimentação, impedindo que ocorram problemas no acoplamento. Isso é possível porque o pingador possui um formato especial no qual o fundo do *growler* encaixa perfeitamente nele, impedindo que a garrafa deslize para o lado ou mesmo que o bico fique fora do centro.

A segunda função do pingador é recolher a cerveja que por algum motivo escorre para fora da garrafa ou a que é desperdiçada quando ocorre a limpeza da linha, e guia-la para a parte de trás do equipamento onde uma mangueira é conectada para captar esse resíduo e destiná-lo a um recipiente seguro.

3.3.3 Sistema de controle

Os controladores são responsáveis por permitir que o sistema faça toda a operação de enchimento automaticamente.

3.3.3.1 Placa de controle

A placa de controle é feita baseada na arquitetura aberta “Arduino”, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre e de placa única que permite que o programador a programe através da linguagem C/C++, para que ela comande todos os passos da operação de enchimento do *growler*. Após feita a programação, ela pode ser salva na memória do Arduino e esse pode operar diretamente dentro do equipamento sem a necessidade de um computador conectado a ele.

O Arduino possui entradas e saídas analógicas e digitais que permitem que a placa receba informações do sistema onde ela está implantada, e dependendo da informação que é lida, ela envia uma resposta através das portas de saída, realizando, dessa maneira, a operação automaticamente.



Figura 21 - Arduino Mega 2560. Fonte: Autor

Neste projeto foi utilizado um Arduino Mega 2560.

3.3.3.2 Flowmeter

Este elemento faz a medição da quantidade de fluido que passa por ele. Ele fica localizado entre o corpo do enchedor e a válvula solenoide da cerveja e tem como papel informar ao Arduino o volume de fluido entrou no *growler* para que quando o este estiver cheio o sistema seja informado e possa fechar a válvula solenoide da cerveja.



Figura 22 - Flowmeter. Fonte: Autor.

3.3.3.3 Sensores de posição do cabeçote enchedor

Como fim de curso superior para o cabeçote de enchimento utilizou-se um botão mecânico para evitar possíveis falhas de leitura de algum outro tipo de sensor como óptico ou ultrassônico. Quando o cabeçote atinge a posição máxima superior, o mesmo encosta no botão e o pressiona, parando imediatamente nesta posição.

Para o fim de curso inferior utilizou-se um sensor ultrassônico HC-SR04 que fica apontado para a parte superior do cabeçote de movimentação e mede a distância que o cabeçote se afasta do ponto máximo superior. Se este ultrapassar 20 cm envia um sinal ao Arduino informando que o cabeçote chegou ao ponto máximo inferior.

3.3.3.4 Sensor de acoplamento do cabeçote de movimentação

O sensor utilizado para a sinalização de que o cabeçote de movimentação está acoplado ao *growler* com a força correta de acoplamento é um sensor óptico infravermelho TCRT5000. Este sensor é colocado dentro do cabeçote de movimentação e mede a distância entre a chapa metálica e a parte interna do cabeçote. Se este sensor detecta que a chapa metálica movimentou-se na direção do cabeçote de movimentação significa que as molas estão sendo comprimidas e que a uma determinada distância ele estará impondo ao *growler* a força correta de acoplamento.

3.3.3.5 Tela sensível ao toque

Para realizar a interface entre homem e máquina existe uma tela sensível ao toque (*touchscreen*) de 2.4" onde é possível realizar diversas operações com o equipamento. No Anexo D encontra-se um fluxograma com o passo a passo das operações reproduzidas na tela.

Existem dois modos, o de manutenção e o de enchimento. No modo manutenção todas as operações podem ser feitas manualmente como abertura e fechamento de válvulas e movimentação do cabeçote. No modo enchimento as operações são feitas automaticamente e o operador somente precisa informar ao equipamento a opção de cerveja desejada e o volume do *growler*..

3.4 Processo de Enchimento

Uma vez citadas as partes que compõem o enchedor de contrapressão e seus acessórios, pode-se comentar sobre como é o processo de enchimento de maneira completa, desde o barril até o *growler*. Na Figura 23 encontra-se um esquema de montagem do equipamento.

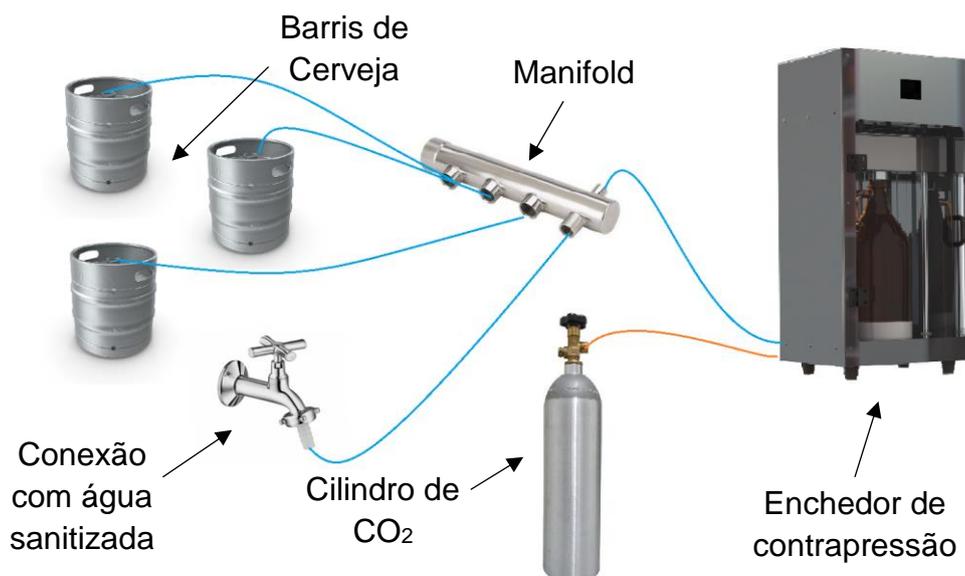


Figura 23 - Esquema de montagem dos acessórios ao enchedor de contrapressão.

O primeiro passo para realizar o enchimento é conectar os barris de cerveja ao Manifold e este ao enchedor de contrapressão através das mangueiras e conexões de engate rápido. Na sequência o cilindro de CO₂ é conectado ao equipamento regulando a pressão de saída é regulada para no máximo 2 bar.

Em seguida inicia-se o processo de enchimento higienizando-se o *growler*, posicionando-o no equipamento e fechando a porta de segurança. Em um menu contendo as opções disponíveis, seleciona-se na tela Touchscreen a cerveja desejada e o volume do *growler*, então o equipamento realiza a movimentação do cabeçote até que este encontre o *growler* e o prenda firmemente.

No fluxograma do Anexo A é possível ver de maneira resumida como funciona o processo de enchimento. Pode-se encontrar um esquema detalhado do processo de enchimento no Anexo B e C.

A seguir aciona-se a válvula de entrada de CO₂ e pressuriza-se a garrafa. Com a garrafa pressurizada abre-se a válvula da cerveja e a de saída de CO₂ enquanto a

válvula de entrada de CO₂ retorna à posição original permitindo a que o CO₂ saia do *growler*. Conforme o gás carbônico vai saindo a pressão interna vai diminuindo e a cerveja começa a entrar pela diferença de pressão entre o barril e a garrafa. A válvula controladora de fluxo mantém essa diferença de pressão pequena para que a cerveja não espume.

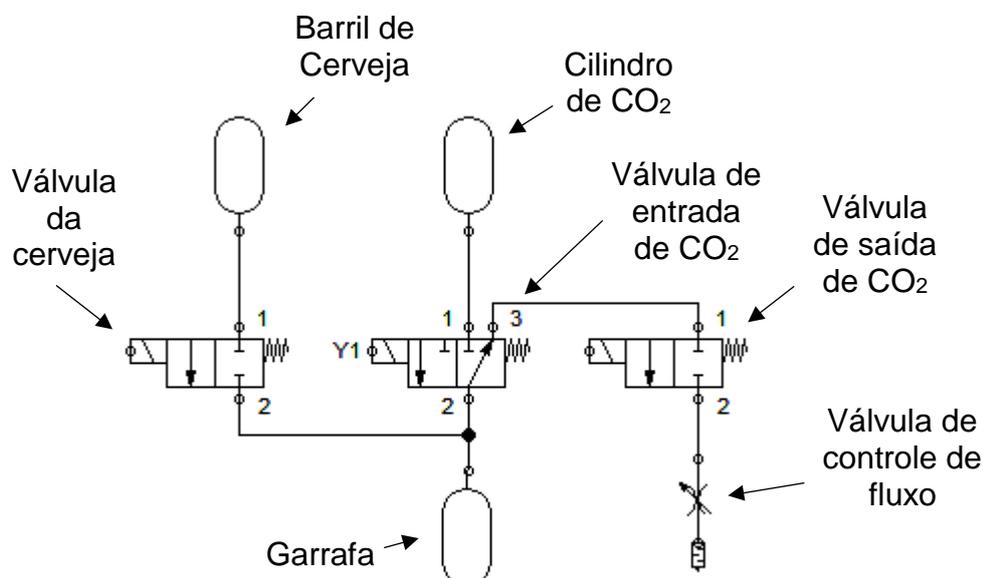


Figura 24 - Esquema hidráulico e pneumático do equipamento.

Esse processo se mantém até o momento em que o *flowmeter* detecta que o volume de cerveja desejado é atingido e envia essa informação para a placa de controle que fecha todas as válvulas, cessando o enchimento. Para finalizar o processo o cabeçote é movimentado para cima liberando o *growler* do equipamento e uma mensagem é mostrada na tela informando que o enchimento foi concluído.

Se um próximo enchimento não for feito com a mesma cerveja, é necessário limpar a linha de cerveja com água e em seguida preenchê-la com a nova escolha. Para isso, quando o próximo enchimento for ser realizado, antes de colocar o *growler* o usuário seleciona o tipo de cerveja que deseja envasar e se esta não for a mesma do envase anterior, o equipamento entra no modo limpeza para fazer a troca da opção.

No modo limpeza o cabeçote é baixado até o ponto máximo inferior para evitar respingos, libera a passagem de água pela linha e em seguida a nova escolha de cerveja. Finalizada a troca, o cabeçote retorna para o ponto máximo superior e está pronto para iniciar o processo de enchimento novamente.

3.5 Definições Mecânicas

3.5.1 Sistema de movimentação

3.5.1.1 Força de acoplamento

A força de acoplamento é a força necessária para que a garrafa seja vedada completamente sem que haja vazamentos pelas bordas do bico. É dada pela equação:

$$F = P * A \quad (1)$$

onde F é a força vertical aplicada sobre o bico da garrafa, P é a pressão de CO_2 para enchimento e A é a área do bico da garrafa.

Além de a força ser calculada, realizou-se também um experimento prático para verificar a força de acoplamento. Em um suporte como o mostrado na Figura 25, acoplou-se o enchedor ao *growler* que foi pressurizado a 0,5 e 1,5 bar.



Figura 25 - Esquema de montagem do experimento para medir a força necessária para vedar o *growler*.

A uma determinada distância da haste empilhou-se pesos para aplicar a força de vedação sobre o *growler* até que o ar pressurizado dentro da garrafa parasse de vazar pela vedação. Dessa maneira foi possível calcular a força de vedação necessária para as duas pressões e gerar um gráfico com os dados.

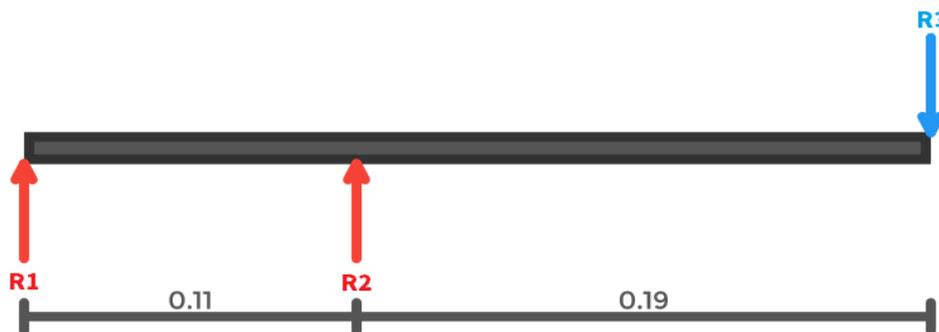


Figura 26 - Esquema da distribuição de forças na haste para calcular a força de acoplamento.

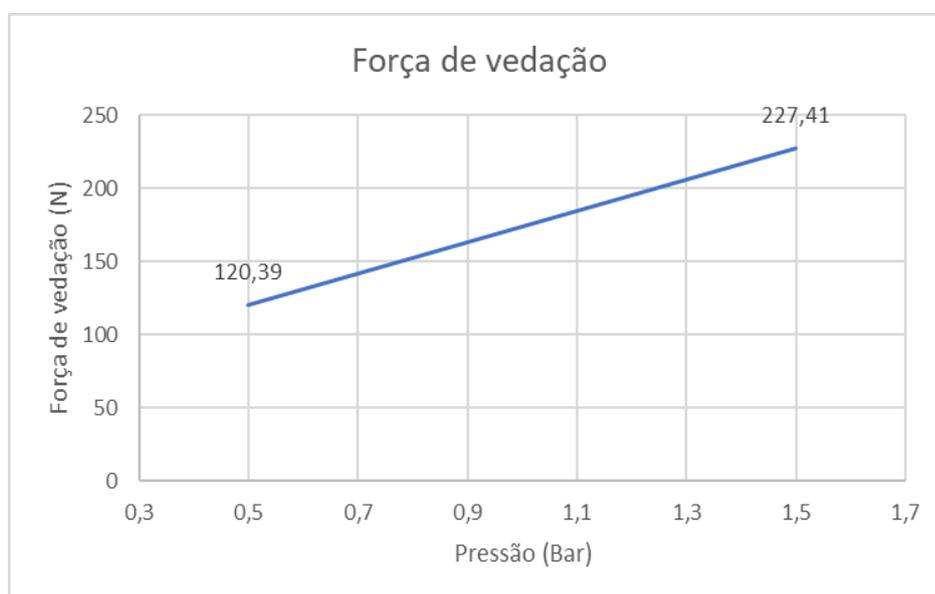


Gráfico 1 - Força de vedação.

3.5.1.2 Torque dos fusos

Tendo em vista a força de vedação necessária, calculou-se o torque necessário em cada fuso para que esta força seja aplicada linearmente no bico da garrafa.

Os fusos são elementos que se definem como parafusos de potência e, que segundo (Shigley, 2016), é um dispositivo utilizado para transformar o movimento angular em movimento linear e transmitir potência.

O torque necessário para elevar e baixar a carga é dado, respectivamente, pelas equações 2 e 3:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) \quad (2)$$

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m + f l} \right) \quad (3)$$

onde F é a força, d_m é o diâmetro médio do fuso, f é o coeficiente de atrito e o l é o produto do passo pelo número de filetes da rosca.

Para realizar esse cálculo considera-se que o torque necessário para fazer o acoplamento é dado pelo torque para elevar a carga (T_R), apesar de o movimento do cabeçote ser para baixo. Isso porque a resistência do corpo da garrafa é uma força vertical atuando para cima, enquanto a força de vedação atua verticalmente para baixo, o que pode ser interpretado como se o cabeçote estivesse levantando um peso igual a força necessária para realizar a vedação.

O torque de vedação é o torque máximo que ocorrerá no sistema, dessa maneira o torque para elevar e baixar o próprio peso do cabeçote é irrelevante comparado ao torque de vedação.

3.5.1.3 Rotação dos fusos

Deseja-se que o cabeçote de movimentação se mova a uma velocidade que não seja nem tão lenta a ponto de demorar muito tempo para que este encontre o bico do *growler* e nem tão rápido a ponto de bater e provocar algum dano ao equipamento ou ao *growler*.

Estima-se que a velocidade ideal seja de 20 mm/s, levando em conta que a distância entre a vedação do acoplador e o bico do *growler* de menor tamanho seja de 80 mm.

Tendo esses dados em vista, pode-se calcular a velocidade de rotação do motor através da seguinte equação:

$$RPM = \frac{V_{linear} * 60}{P} \quad (4)$$

onde RPM é a rotação por minuto do motor, V_{linear} é a velocidade linear e P o passo da rosca do fuso.

A rotação do motor é dada diretamente pela equação (4) pois o motor será acoplado diretamente ao fuso e não terá nenhum tipo de redução.

3.5.1.4 Molas

Para dimensionar o jogo de molas necessários para realizar a força de acoplamento utilizou-se inicialmente a Lei de Hooke apresentada na Equação 5, onde F é a força de acoplamento, K a constante elástica da mola e x a deformação:

$$F = -K * x \quad (5)$$

Dividiu-se a força de acoplamento por 2 molas e limitou-se o comprimento livre máximo para elas segundo o espaço disponível dentro do cabeçote de movimentação. Essas molas necessitavam ter um diâmetro interno maior que o diâmetro do fuso devido ao posicionamento planejado que pode ser visto na Figura 20. Dessa maneira, optou-se por utilizar uma mola de válvulas de motor disponível em laboratório com um diâmetro interno (DI) de 16 mm, diâmetro de fio (d) de 2 mm e passo (p) de 7,5 mm, sendo necessário somente determinar o comprimento livre (L_o) e a deformação para que a força necessária de acoplamento fosse atingida.

Sendo assim, montou-se uma tabela de cálculos interativa para determinar qual o comprimento livre da mola para que esta quando comprimida aplicasse ao cabeçote a força de acoplamento necessária sem atingir o comprimento sólido da mola, tudo isso respeitando o espaço disponível dentro do cabeçote.

Considerou-se como Fio Musical ($G = 81.000 \text{ Mpa}$) o material da mola e as extremidades esquadradas e esmerilhadas. Através das equações (6), (7), (8) e (9) respectivamente calculou-se o número total de espiras (N_t), o comprimento sólido (L_s), o comprimento livre (L_o) e a constante elástica da mola (k) somente modificando o número de espiras ativas (N_a). Através da Equação (5) calculou-se a deformação da mola levando em conta a força de acoplamento calculada e testada anteriormente e assim verificou-se se o número de espiras ativas se encaixava dentro dos limites dimensionais do cabeçote.

$$N_t = N_a + 2 \quad (6)$$

$$L_s = N_t * d \quad (7)$$

$$L_o = (p * N_a) + (2 * d) \quad (8)$$

$$k = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * N_a} \quad (9)$$

4 PROTOTIPAGEM

4.1 Definição e fabricação do Primeiro Protótipo (Mock-Up)

4.1.1 Sistema de Movimentação

4.1.1.1 Materiais utilizados e montagem

Para validar o conceito proposto para o sistema de movimentação do cabeçote movimentador, utilizou-se inicialmente materiais alternativos com baixo custo para a construção do protótipo inicial. Fez-se a carcaça do enchedor com madeira montando-a no formato de uma caixa para abrigar todos os componentes do sistema movimentador.

Na sequência utilizou-se duas barras roscadas de ½" juntamente com suas porcas para simular os fusos de movimentação do cabeçote. Fez-se o cabeçote com uma chapa de aço de 2,5 mm de espessura encontrada na sucata do GPMOT na qual as porcas foram soldadas.

Em uma oficina de bicicletas encontrou-se rolamentos, engrenagens de câmbio e uma corrente que não seriam mais utilizados e com isso fez-se o sistema de transmissão da força do motor para ambos os eixos.

Usinou-se os cubos dos rolamentos em tubos de aço que foram soldados em uma base de aço que poderia ser ajustada e parafusada na madeira que compunha o corpo do equipamento.

Reuniu-se todo o material e iniciou-se a montagem do protótipo cortando os fusos no tamanho desejado e usinando as pontas para encaixar os rolamentos nos quais colocou-se um cubo.

As engrenagens dos câmbios tiveram seus furos centrais aumentados para entrarem na barra roscada e ambos foram fixados com parafusos e arruelas apertados uns contra os outros, impedindo que as engrenagens girassem em falso.

Rosqueou-se o cabeçote nos fusos e montou-se a corrente nas engrenagens alinhando o cabeçote para que este ficasse o mais nivelado possível. Improvisou-se

um esticador de corrente para manter a mesma esticada impedindo que ela escapasse durante a movimentação.

Neste protótipo inicial o motor não era fixado diretamente em um dos fusos, a força era transmitida por um segundo conjunto de engrenagens também ligados por corrente no qual o motor estava fixado.



Figura 27 - Primeiro protótipo.

4.1.1.2 Problemas encontrados

Neste protótipo inicial encontrou-se diversos problemas principalmente de alinhamento entre os fusos. Manter os dois fusos exatamente perpendiculares a base e paralelos entre si mostrou-se uma tarefa difícil, principalmente quando os materiais utilizados são improvisados. Quando não há um bom alinhamento entre os fusos ocorrem trancamentos e a força necessária para movê-los aumenta, o que acarreta em diversos problemas como desgaste elevado, baixa eficiência e desperdício de energia.

Porém, ao utilizar materiais melhores para a montagem, como por exemplo, rolamentos novos, fusos de boa qualidade, carcaça sem desníveis, gabaritos para

furações, assentamento de rolamentos com maior qualidade, transmissão de força de maneira mais uniforme, etc., diminuí-se substancialmente os problemas de alinhamento dos eixos.

O ruído produzido pela corrente ao transmitir o torque do motor para o outro fuso é desagradável e não combina com o produto, sendo necessário, portanto, a substituição da corrente por correia sincronizadora.

Percebeu-se que o alinhamento entre o *growler* e o acoplador é um ponto crucial para o bom funcionamento do pois se este ficar poucos milímetros deslocado para um lado, o cabeçote de movimentação pode prender a garrafa de maneira errada e o enchimento será prejudicado ou impossibilitado.

4.1.2 Sistema de Enchimento

4.1.2.1 Materiais utilizados e montagem

Para realizar os primeiros testes do sistema de enchimento, buscou-se construir o enchedor com os materiais e métodos mais baratos e acessíveis possíveis. Para a construção do corpo do enchedor e do acoplador, buscou-se o auxílio do professor Celso Roth, que ministra as aulas de Usinagem no Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, para obter uma autorização do uso dos equipamentos de usinagem do laboratório EcoAgile – Escritório de projetos localizado no prédio 05-B da UFSM. O material mais barato encontrado para usinar peças de protótipos foi o PEAD que é um tipo de polímero atóxico, podendo ser utilizado com produtos alimentícios.

Neste laboratório realizou-se a usinagem do corpo do enchedor e do acoplador seguindo o projeto conceitual feito previamente. Para simular a vedação, utilizou-se um lençol de borracha, o qual foi cortado e furado para encaixar no acoplador. Escolheu-se um tubo de CO₂ feito em aço inox com ¼”, o qual foi cortado no tamanho necessário. Os elementos que estão acoplados ao corpo do enchedor, como as válvulas solenoides e o *flowmeter*, foram adquiridos previamente.

Como todos os materiais reunidos, realizou-se a montagem do sistema de enchimento no cabeçote de movimentação e este foi testado.

4.1.2.2 Testes e problemas encontrados

Realizou-se todos os testes iniciais com água e ar comprimido por serem baratos e de fácil acesso.

O primeiro teste realizado foi o de vazão do líquido através do enchedor. Nesse teste simplesmente deixou-se correr a água através do enchedor para dentro da garrafa. A intenção de projeto era que a água escorresse pela lateral do enchedor e da garrafa e não caísse diretamente no fundo da mesma, pois isso acarretaria na formação de espuma.

Nesse primeiro teste observou-se que a água escorria pelo tubo de CO₂ e caía diretamente no fundo da garrafa. Para tentar melhorar o escoamento da água, cortou-se a vedação em um formato cônico na saída do enchedor, o que proporcionou um caminho mais fácil para a água escorrer pela lateral da garrafa. À primeira vista isso melhorou muito o escoamento da água pela lateral da garrafa, porém muitas vezes durante o enchimento a água voltava a escorrer pelo tubo de CO₂, e com o fluxo de ar saindo de dentro da garrafa por este, a água acabava entrando pelo tubo e sendo jogada para fora, algo completamente indesejável.

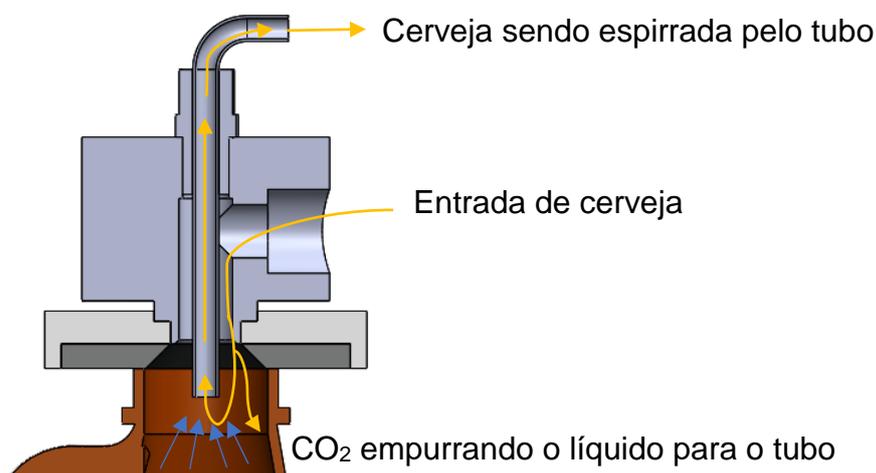


Figura 28 - Escoamento incorreto da cerveja pelo tubo de CO₂ e retorno pelo mesmo. Fonte: Autor.

Pensou-se em 3 possibilidades para melhorar o escoamento no enchedor: Aumentar o diâmetro por onde o fluido escorre para dentro da garrafa mantendo dessa maneira o fluxo longe do tubo de CO₂, aumentar o ângulo do cone da vedação para

que o líquido tenha maior facilidade de escoar para a parede do *growler* ou fixar um aparato a ponta do tubo de CO₂ para guiar o líquido em direção a parede da garrafa.

O segundo teste realizado foi o de estanqueidade do gás dentro da garrafa. A intenção era ver se a vedação conseguiria estancar totalmente o gás e se existiam vazamentos nas conexões e mangueiras.

Observou-se primeiramente que a válvula da cerveja não estancava o fluxo em ambos os sentidos o que prejudicava o enchimento do *growler*, por isso substituiu-se a válvula e realizou-se os testes. Aplicou-se uma pressão de 2 bar ao *growler* e a vedação mostrou-se muito boa vedando-o perfeitamente, apesar de haverem diversos vazamentos nas conexões de engate rápido e nas válvulas, o que facilmente foi resolvido.

4.1.3 Sistema Completo

Após realizar os testes com os sistemas isolados, realizou-se os testes com o sistema completo que consistiu basicamente em fazer o enchimento de um *growler* com água utilizando ar comprimido em substituição do CO₂ e comando manual das válvulas e do motor. O barril de cerveja foi simulado com uma garrafa pet de 2 litros a qual foi pressurizada com a mesma pressão do *growler*.

O enchimento foi realizado e pôde-se observar alguns pequenos problemas durante o processo, sendo o principal deles o mesmo que ocorreu no teste de vazão no qual o fluxo de água acabava retornando pelo tubo de CO₂ e saindo pela válvula de controle de fluxo. Isso foi minimizado ao diminuir a vazão de saída do gás de dentro do *growler* e conseqüentemente a vazão de líquido para dentro da garrafa.

4.2 Segundo protótipo

Realizados os testes e observados os problemas do primeiro protótipo, partiu-se para o projeto e construção de um segundo protótipo que atendesse os requisitos de projeto estipulados no Item 3.2.2.



Figura 29 - Visão geral do segundo protótipo.

4.2.1 Sistema de Enchimento

4.2.1.1 Enchedor

Optou-se por produzir todas as peças do sistema de enchimento em PEAD pela acessibilidade, baixo custo, boa usinabilidade, por ser atóxico e por ter uma boa resistência mecânica. Apesar de todas as peças terem sido usinadas em um torno convencional, obteve-se um bom acabamento e precisão dimensional, sendo que o único problema foi na rosca que conecta o corpo do enchedor ao acoplador que ficou muito frágil e precisou ser refeita.

4.2.1.2 Acoplador

Além de ser o elemento que suporta a vedação, o acoplador serve como uma porca para fixar o corpo do enchedor ao cabeçote de movimentação. O corpo do

enchedor se encaixa no gabarito cortado no cabeçote de movimentação e o acoplador o mantém fixado no local evitando que este se movimente involuntariamente.

4.2.1.3 Vedação

Os requisitos para produzir a vedação é que a mesma fosse atóxica, se moldasse em um formato específico para o melhor escoamento da cerveja e possuísse uma dureza elevada para não se romper com a força de acoplamento. Buscou-se assim uma empresa que produzisse silicões moldáveis atóxicos e encontrou-se em São Paulo a STC Silicões, empresa especializada no ramo que forneceu uma amostra de um silicone moldável atóxico com uma dureza de 70 Shore.

Com o silicone e as instruções de fabricação em mãos, usinou-se um molde em aço carbono 1020 e pediu-se autorização no Departamento de Engenharia Química (DEQ) da UFSM para a utilização de uma estufa. Por ser um silicone muito duro, utilizou-se uma prensa hidráulica para acomodá-lo dentro do molde e um grampo para manter o molde bem fechado.



Figura 30 - Molde para fabricação da vedação.

Segundo o boletim técnico do produto, as temperaturas típicas de moldagem estão entre 160 e 190°C e o tempo de exposição varia conforme a configuração geométrica do molde sendo que as condições ótimas de processamento devem ser

verificadas pelo usuário em testes práticos. Sendo assim, fez-se 3 amostras até encontrar um ponto satisfatório para a vedação que pode ser visto na Figura 32.



Figura 31 - Vedação já fixada ao acoplador.

O único problema encontrado na fabricação da vedação é que esta encolhe após a confecção, portanto esse encolhimento precisa ser previsto no momento da fabricação do molde.

4.2.1.4 Guia

Acrescentou-se a guia ao projeto após os testes no primeiro protótipo para evitar que a cerveja retornasse pelo tubo de CO₂. Desta maneira a cerveja que escorre pela parte externa do tubo de CO₂ durante o envase encontra a Guia e é direcionada para a parede da garrafa não encontrando a ponta do tubo de CO₂ e conseqüentemente não retornando pelo mesmo. Produziu-se a guia em PEAD e fixou-se esta a ponta do tubo de CO₂ como pode ser observado na Figura 31.

4.2.2 Sistema de Movimentação

4.2.2.1 Fusos

Selecionou-se para o sistema de movimentação dois fusos de aço inox com diâmetro de 12 mm, passo de 2 mm e comprimento total de 500 mm com duas porcas

de bronze. O diâmetro dos fusos foi selecionado com base nos rolamentos comerciais disponíveis e também para obter-se uma maior segurança na usinagem das pontas onde são fixados os rolamentos e as polias, visto que o fuso é de aço Inox, material de difícil usinabilidade, e pode entortar facilmente. O comprimento foi selecionado levando em conta a altura do *growler* que tem em média 280 mm.



Figura 32 - Fusos e porcas.

4.2.2.2 Mancais

Para obter-se uma maior precisão no distanciamento e alinhamento entre fusos, bem como uma resistência mecânica maior para suportar a tensão da correia e a força de acoplamento, usinou-se em uma barra de PEAD os mancais superior e inferior onde foram acoplados os rolamentos de cada fuso. Na carcaça do enchedor cortou-se a laser um gabarito para posicionar os mancais corretamente no equipamento e garantir o alinhamento ótimo entre os fusos.

4.2.2.3 Polias e correia

Antes de iniciar o projeto da transmissão de torque do motor pesquisou-se no catálogo de lojas especializadas em correias e polias qual o tipo mais adequado para a operação e selecionou-se uma correia sincronizadora 5M. Dessa maneira escolheu-se as polias levando em conta o diâmetro interno que deveria ser o mesmo do eixo de acoplamento e especificou-se o comprimento da correia conforme o diâmetro e a largura das polias, e a distância entre centros dos fusos (13x9x230mm), assim obteve-se um comprimento total para a correia de 522,83mm.

Primeiramente optou-se por comprar uma correia de 520mm de comprimento, porém esta ficou muito tensionada entre os fusos, causando um entortamento destes

e ruídos desagradáveis no momento do giro. Substituiu-se a correia de 520 mm por outra de 525 mm de comprimento que ficou com um tensionamento adequado e não causou mais problemas.



Figura 33 - Polias e correia.

4.2.2.4 Motor

Selecionou-se um motor Bosch de vidro elétrico de carro por ser o motor mais acessível e barato encontrado, ao mesmo tempo que entrega o torque calculado para a operação. Encontrou-se o motor em uma sucata de carros e o conjunto para ambos os vidros foi adquirido. Utilizou-se um dos motores no protótipo e do outro retirou-se a engrenagem de transmissão do torque para acoplá-la ao fuso e assim poder transmitir o torque do motor.

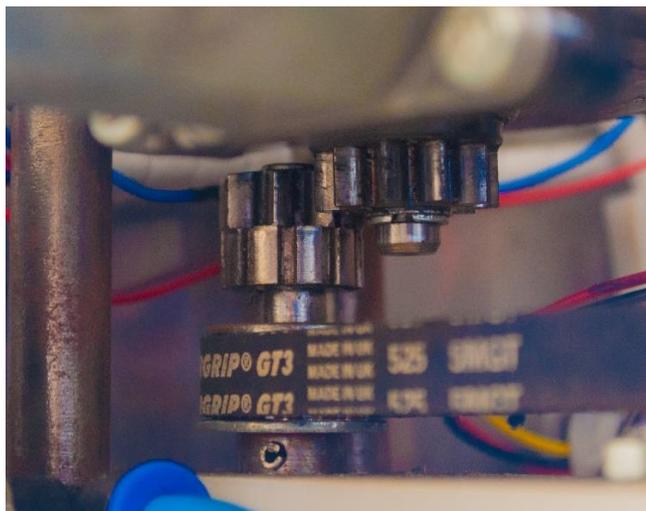


Figura 34 - Detalhe de acoplamento do motor ao fuso.

O motor possui uma redução bastante grande e esquenta caso o uso não for intermitente, visto que é um motor para vidro elétrico e não foi feito para ser usado de forma contínua, porém, como este é usado somente para realizar o acoplamento e desacoplamento da garrafa, não corre o risco de ser danificado por excesso de uso.

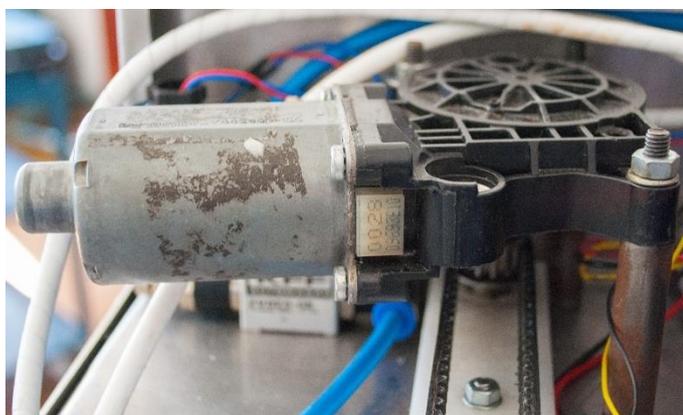


Figura 35 - Motor.

4.2.2.5 Cabeçote de movimentação

Projetou-se o cabeçote de movimentação para que este abrigasse o sistema de enchimento em seu interior juntamente com o sistema de medição da força de acoplamento que é composto pela chapa metálica, molas, assentadores de mola, hastes de deslizamento e os parafusos fixadores. Uma capa fecha o cabeçote de movimentação na parte superior para dar o acabamento.

A chapa metálica possui uma função bastante importante que é a de sustentar o cabeçote e aplicar a força de acoplamento sobre o mesmo pois é nela que as porcas dos fusos e as molas são fixadas. Ela possui um corte central para que o sistema de enchimento cruze por ela quando ocorre o acoplamento, do mesmo modo que as hastes de deslizamento deslizam pelos orifícios quando ocorre o acoplamento e mantêm o cabeçote nivelado quando este está desacoplado.

Para manter um alinhamento adequado entre o sistema de enchimento e a garrafa, cortou-se no cabeçote de movimentação um gabarito para encaixar o corpo do enchedor, assentadores de mola e hastes de deslizamento de tal maneira que o sistema de enchimento ficasse centralizado entre os fusos, evitando erros de posicionamento.



Figura 36 - Cabeçote de movimentação.

4.2.2.6 Pingador

Usinou-se o Pingador em uma barra de PEAD de 130 mm de diâmetro baseado nas dimensões do fundo de um *growler* comum de 64 oz. No centro do Pingador na parte inferior fez-se um rebaixo para encaixá-lo em um gabarito cortado na parte inferior da carcaça para, da mesma forma que no cabeçote de movimentação, posicioná-lo perfeitamente entre os fusos e garantir um alinhamento ótimo entre a garrafa e o cabeçote de movimentação.

No rebaixo usinado fez-se um furo passante e rosqueou-se uma conexão para coletar a cerveja que pingasse no Pingador e guia-la até a parte traseira do

equipamento onde uma mangueira é conectada para depositar esse resíduo até um balde de descarte.

Na parte inferior do pingador fez-se dois rebaixos para abrigar os parafusos de fixação do mancal inferior, para dessa maneira escondê-los do usuário e dar uma aparência mais bonita ao equipamento.

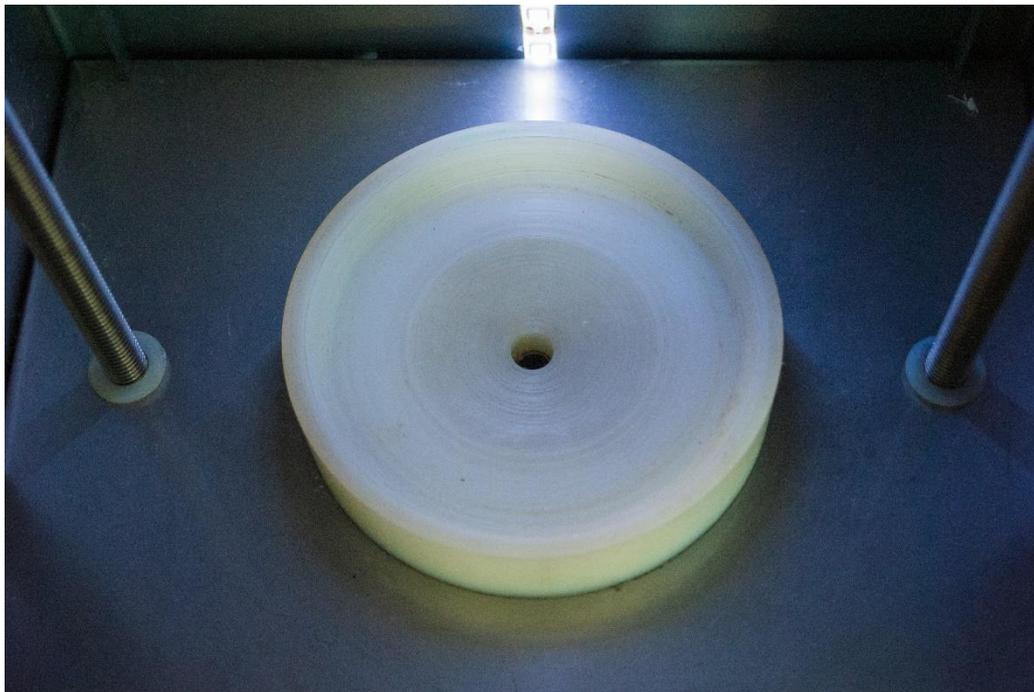


Figura 37 - Pingador.

4.2.3 Sistema de Controle

4.2.3.1 Arduino

Selecionou-se para a automatização do processo um microcontrolador Arduino Mega pois este possui uma quantidade de portas suficientes para controlar todos os componentes necessários para a operação de enchimento e também por que esta é uma plataforma aberta de programação, com diversos fóruns e materiais de estudo liberados para o usuário, sendo, portanto, ideal para a confecção de protótipos.

4.2.3.2 Programação e componentes de controle

Para ter-se uma visão geral de todas as etapas do enchimento montou-se inicialmente fluxogramas dos processos com o quais foi possível selecionar os

componentes para controlar cada uma das etapas. Estes fluxogramas podem ser encontrados no Anexo B e C.

Inicialmente selecionou-se os sensores de fim de curso do cabeçote e da força de acoplamento. A ideia inicial era controlar a força de acoplamento pela corrente do motor, porém preferiu-se utilizar um sistema mecânico para isto pois não se tinha certeza da precisão deste tipo de medição. Os sensores selecionados para isso foram os TCRT 5000, sensores óticos reflexivos muito comuns facilmente encontrados na internet. Este sensor é composto por 2 leds, um infravermelho que envia um feixe de luz e um outro fototransistor que o recebe, assim, quando um objeto cruza na frente do sensor este reflete a luz emitida pelo infravermelho e o fototransistor a recebe captando a sua presença. A distância do objeto também pode ser percebida pois quanto mais próximo o objeto, maior é a quantidade de luz captada pelo fototransistor e maior é a tensão produzida pelo mesmo.

Esse sensor foi fixado ao cabeçote de movimentação e foi apontado diretamente para a chapa metálica. Quando ocorre o acoplamento com o *growler* a chapa metálica comprime as molas se aproximando do cabeçote de movimentação, o que é percebido e medido pelo sensor. Ao acusar a distância que resulta na força de acoplamento correta, o microcontrolador comanda a parada do motor e o acoplamento está finalizado.

O mesmo ocorria com os sensores que eram utilizados para fim de curso superior e inferior do cabeçote, ao detectar a presença deste, os sensores enviavam um sinal ao microcontrolador que realizava a operação programada, porém esses sensores foram substituídos por sensores ultrassônicos que possuem um alcance maior de detecção. Isso foi feito com o propósito de evitar que os sensores ficassem visíveis ao usuário, no entanto o sensor ultrassônico não funcionou como o desejado pois ficava colocado dentro do equipamento que possui o formato de uma caixa fechada, o que causava ecos e leituras erradas do sensor.

A programação completa do Sistema pode ser encontrada no Anexo E.

4.2.3.3 Tela

Escolheu-se para o protótipo uma tela Touchscreen de 2.4" como a mostrada na Figura 39. O intuito do equipamento é que ele possua uma interface amigável com o operador e seja autoexplicativa, sem que este precise ter um conhecimento prévio

do equipamento para utilizá-lo. Desta forma fez-se um fluxograma com cada menu da Tela mostrando seu funcionamento que pode ser encontrado no Anexo D.

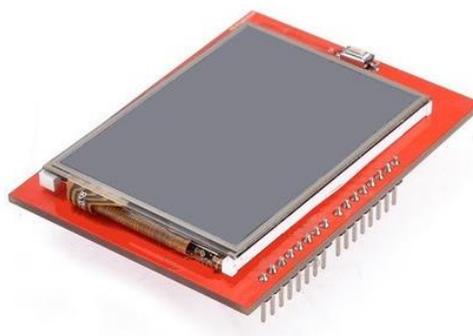


Figura 38 - Tela Touchscreen 2.4".

Dividiu-se as funções do equipamento em 2 modos: Modo Manutenção e Modo Enchimento.

No modo manutenção as operações básicas de subir e baixar o cabeçote podem ser feitas pressionando os botões correspondentes na tela, bem como o botão de Parar que para a subida ou descida do cabeçote. No botão voltar é possível retornar ao menu anterior e selecionar os modos.

O modo enchimento é o modo de operação automática do equipamento onde o operador seleciona o tipo de cerveja que deseja envasar, o volume do *growler*, confirma a escolha no botão iniciar e o processo de enchimento é realizado enquanto informações de volume envasado e vazão de envasamento são mostradas na tela. Ao fim do enchimento a tela exibe uma mensagem de finalização e o menu retorna ao ponto inicial.

4.2.3.4 Fonte

Selecionou-se para o projeto elétrico uma fonte chaveada de 30 A como a mostrada na Figura 40.



Figura 39 - Fonte chaveada de 30 A.

4.2.3.5 Placa de relés

Para realizar o acionamento das válvulas e do motor, utilizou-se uma placa de relés de 5V com 8 canais. Para o acionamento do motor fez-se uma ligação elétrica em ponte H que utiliza 2 relés, enquanto outros 3 foram utilizados para acionar as válvulas solenoides do sistema.

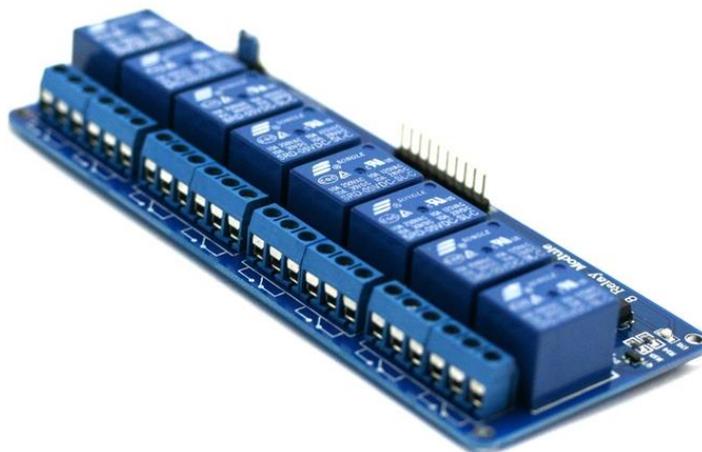


Figura 40 - Placa de relés 5v com 8 canais.

4.2.4 Carcaça

4.2.4.1 Chapas metálicas

As chapas metálicas da carcaça foram fabricadas em aço Inox 304 com 1,5 mm de espessura com exceção somente do cabeçote movimentador que a chapa possui 2,5 mm de espessura.

Realizou-se o corte CNC a laser e as dobras foram realizadas de forma manual em uma viradeira, o que acabou gerando diversas imprecisões na montagem, principalmente em alinhamento de furações pois os raios de dobra não foram respeitados. Para corrigir este problema, diversas furações precisaram ser refeitas e aumentadas para que os parafusos pudessem se encaixar, o que demandou bastante tempo de montagem visto que o aço Inox é muito resistente e difícil de ser trabalhado.

Porém o mais importante da montagem era que o alinhamento entre a garrafa e o cabeçote de enchimento fosse perfeito, o que se atingiu com êxito devido aos gabaritos cortados a laser nas chapas.

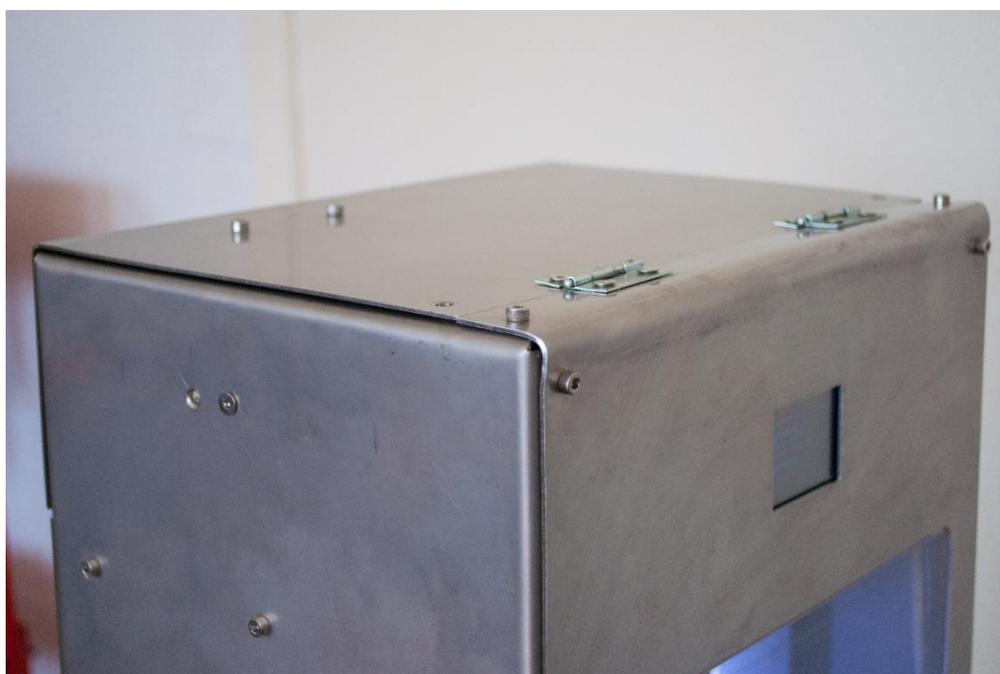


Figura 41 - Detalhe das chapas de aço utilizadas para construir a parte frontal e superior do enchedor de contrapressão.

4.2.4.2 Porta

A porta de acrílico foi fabricada manualmente com uma chapa de 4 mm de espessura cortada com uma serra manual a qual parafusou-se as dobradiças e a maçaneta.



Figura 42 - Detalhe de fixação da dobradiça.

5 RESULTADOS

Realizou-se o teste de enchimento e vazão em laboratório que consistiu em perceber a diferença entre os enchimentos com contrapressão e sem contrapressão. Realizou-se 8 enchimentos com cada método até que a espuma formada atingisse o bico do *growler* e mensurou-se o volume de cerveja que foi envasado e o volume de espuma formada. Os tempos de enchimento com o equipamento de contrapressão começaram a ser contados a partir do momento em que o CO₂ foi injetado na garrafa. O enchimento sem contrapressão foi realizado da mesma maneira no equipamento, porém fechou-se a válvula de CO₂ para que a garrafa não fosse pressurizada.

A cerveja utilizada para os testes foi uma IPA Macchina Super Hops, 50 IBU, 6,5% abv, feita com os lúpulos *citra*, *ekuanot* e *Crystal*, cedida pela Cervejaria Zagaia. Na Tabela 4 vê-se os resultados obtidos para tempo de enchimento e quantidade de espuma formada nos dois métodos de enchimento bem como as médias para ambos os processos.

Tabela 1 - Resultados obtidos de enchimento sem contrapressão e com contrapressão no equipamento.

	Enchimento com contrapressão		Enchimento sem contrapressão	
	Tempo de enchimento (Min)	Volume de espuma (mL)	Tempo de enchimento (Min)	Volume de espuma (mL)
1	01:25	90	01:22	1500
2	01:35	45	01:56	685
3	01:37	125	02:05	655
4	02:36	15	02:03	650
5	02:02	20	01:46	995
6	02:07	50	01:36	1150
7	01:58	50	01:25	1450
8	02:05	10	01:53	950
Média	01:55	50,625	01:45	1005

Percebe-se pelos resultados explicitados na Tabela 1 que o volume de espuma formado utilizando o método de contrapressão é muito menor que o formado sem contrapressão, o que comprova a eficiência deste método para enchimento de *growlers*.

Para a velocidade de enchimento obteve-se um tempo médio maior para o enchimento com contrapressão pois quando se realizava o enchimento sem contrapressão a garrafa era mais rapidamente preenchida por espuma, necessitando interromper o ciclo de enchimento antes do fim. Dessa maneira, comparando-se o volume de espuma formado, percebe-se que na verdade o enchimento com contrapressão é muito mais rápido que o sem contrapressão.

Levando em conta a automatização do processo, fez-se um levantamento dos problemas encontrados durante cada um dos enchimentos de contrapressão os quais estão explicitados na Tabela 2.

O primeiro problema observado estava relacionado a calibração do *flowmeter* pois este havia sido calibrado conforme os enchimentos realizados anteriormente com água, e como estes dois líquidos possuem diferentes propriedades físico-químicas, houve uma diferença na leitura do volume envasado.

Tabela 2 - Problemas encontrados durante o enchimento com contrapressão.

Nº do enchimento	Descrição do problema	Motivo do problema
1	A cerveja envasada encheu completamente o <i>growler</i> , porém na leitura do flowmeter o volume envasado não atingiu o volume programado, não disparando o gatilho para finalizar o enchimento.	Flowmeter não estava calibrado corretamente
2	A cerveja envasada encheu completamente o <i>growler</i> porém na leitura do flowmeter o volume envasado não atingiu o volume programado, não disparando o gatilho para finalizar o enchimento.	Flowmeter não estava calibrado corretamente
3	Formou-se uma quantidade maior de espuma	Barril foi pressurizado excessivamente
4	Não houve problema	Não houve problema
5	O cabeçote não parava de aplicar a força de acoplamento.	Sensor de acoplamento despreendeu-se do seu local de medição não medindo a força de acoplamento

6	Ao realizar o desacoplamento espuma de cerveja foi espirrada dentro do equipamento, sujando o seu interior	A despressurização faz com que se forme um pouco de espuma no fim do enchimento a qual é espirrada da garrafa quando o cabeçote sobe para a posição inicial
7	Espuma de cerveja subiu da parte debaixo do pingador sujando o interior do equipamento e o <i>growler</i>	Fez-se a ligação hidráulica e pneumática para que quando ocorre a formação de espuma dentro do <i>growler</i> , esta sobe inevitavelmente pelo tubo de CO ₂ indo até as válvulas pneumáticas. Desta maneira ligou-se a saída da válvula de controle de fluxo a tubulação que recolhe os resíduos do pingador para que esta seja descartada, porém uma parte da espuma acaba subindo para o pingador devido a pressão do CO ₂ , se depositando na parte interna do equipamento.
8	Não houve problema	Não houve problema
9	Não houve problema	Não houve problema

O problema ocorrido no terceiro enchimento acontece com cervejas que estão demasiadamente carbonatadas e com uma pressão muito elevada dentro do barril, se caracterizando como um problema comum. Para resolver esse problema seria necessário diminuir a vazão de saída de CO₂ do *growler*, ou seja, restringir a válvula de controle de fluxo para que a entrada de cerveja na garrafa fosse mais lenta, diminuindo a formação de espuma. Como a válvula de fluxo é manual e está instalada dentro do equipamento, não foi possível manuseá-la durante o enchimento, demonstrando que isso é um problema de projeto que pode ser solucionado instalando-se uma válvula de controle de fluxo que tenha compensação automática, ou que a regulagem da vazão possa ser feita externamente.

No enchimento número 5 houve um problema mecânico no qual o sensor de acoplamento soltou-se do seu lugar inviabilizando uma leitura correta da força de acoplamento, o que chamou a atenção para a importância de uma boa fixação dos sensores dentro do equipamento. Este enchimento não foi contabilizado nos testes pois não foi possível finalizá-lo.

O problema visualizado durante o enchimento número 6 é bem comum e para solucioná-lo é necessário encontrar um meio de despressurizar a garrafa de maneira

lenta ao fim do enchimento, para que a brusca diferença de pressão causada pelo desacoplamento não forme espuma.

O problema do enchimento número 7 acontece quando por algum motivo existe uma formação muito grande de espuma durante o enchimento e esta espuma acaba saindo pelo tubo de CO₂ e é guiada até o pingador. Pensou-se nessa concepção para evitar que a espuma formada no enchimento fosse parar na caixa superior onde estão todos os sistemas elétricos e de comando, porém houve esse problema que pode ser solucionado ligando-se o tubo de saída do CO₂ em um ponto mais distante do pingador e mais próximo da saída de descarte de resíduos, evitando dessa maneira que a espuma formada dentro do *growler* suba para o pingador.

6 CONCLUSÃO

Levando-se em conta os requisitos de projeto estipulados no Item 3.2.2. conclui-se que o objetivo de projetar e prototipar um equipamento para realizar o enchimento de *growlers* com o processo de contrapressão foi alcançado, bem como o enchimento mostrou-se eficiente apresentando uma produção de espuma 20 vezes menor se comparado ao processo de enchimento sem contrapressão.

A automatização total do processo, apesar de requerer ainda algumas correções, mostrou-se eficiente e precisa pois a força de acoplamento não apresentou variações significativas durante os testes a ponto de acontecerem vazamentos, a pressurização do *growler* manteve-se constante para todos os testes, a medição do volume de cerveja, depois de calibrado corretamente o *Flowmeter* não apresentou diferenças significativas no envase e a movimentação do cabeçote não apresentou nenhum tipo de falha.

Não se pôde apresentar nenhuma conclusão quanto a possibilidade de acoplar 20 diferentes tipos de cerveja ao equipamento sem construir um *Manifold*, o qual foi proposto como um trabalho futuro.

A compatibilidade com ambos os tamanhos de *growlers* mostrou-se eficiente pois a escolha de conceito utilizando fusos deu a capacidade ao equipamento de atingir qualquer altura de *growler*.

Cumpriu-se também, mesmo que de maneira secundária, o objetivo de construir um equipamento atrativo e com uma interface amigável para que o operador, mesmo que não familiarizado com o equipamento, consiga realizar o enchimento com contrapressão de um *growler*.

7 PROPOSTAS DE MELHORIAS E TRABALHOS FUTUROS

Observando-se os problemas encontrados durante os testes de enchimento, propõem-se melhorias para o sistema já existente e trabalhos futuros que precisam ser feitos para atingir todos os requisitos de projeto de maneira satisfatória.

Um dos problemas secundários encontrados no protótipo durante os enchimentos foi o fato de a cerveja retornar para o barril logo no início do enchimento e depois seguir o enchimento normalmente. Isso acontece porque a pressão dentro do *growler* é maior que a pressão do barril e no momento em que se abre a válvula de cerveja a pressão interna do *growler* empurra a cerveja da tubulação novamente para o barril. Isto é um problema pois se há algum resíduo de outra cerveja dentro da tubulação pode haver uma contaminação do barril. Portanto para evitar esse tipo de situação recomenda-se a utilização de uma válvula unidirecional na entrada de cerveja do equipamento.

Percebeu-se que a maneira como a parte inferior do equipamento foi construída não há uma forma de captar todo resíduo de cerveja que acaba caindo dentro do enchedor, portanto é necessário que a parte interna do enchedor de contrapressão possa ser lavada com água corrente sem que isso prejudique seu funcionamento, e que todo esse resíduo seja captado e destinado a um local adequado. Esperava-se que todo o resíduo de cerveja caísse no Pingador, porém durante os testes pode-se ver que não é isso que acontece.

A porta de acrílico é um dos itens de segurança mais importantes do equipamento pois é ela que impede que estilhaços de vidro atinjam pessoas ao redor caso aconteça algum problema de explosão do *growler*. Por isso é importante colocar uma trava inteligente na porta que despressurize a garrafa caso esta seja aberta durante o enchimento.

Da mesma maneira é necessário acrescentar um botão de emergência que pare o processo de enchimento caso este seja pressionado, evitando problemas de enchimento e acidentes.

Debruçando-se sobre as melhorias elétricas e de software, o primeiro passo é arrumar os *bugs* de programação e acrescentar gatilhos de salvamento para problemas que podem acontecer durante o enchimento, por exemplo, os problemas citados nos enchimentos número 1 e 2 no qual o Flowmeter não finalizou o enchimento

porque o volume de líquido não havia atingido o valor programado. Nesse caso é necessário ter um gatilho de salvamento que percebe esse tipo de problema e dar uma solução ao mesmo, por exemplo, ao perceber que a leitura do *flowmeter* não variou por um determinado tempo, o sistema entende que o *growler* já está cheio mesmo que não tenha atingido o volume de fim de enchimento.

É necessário também acrescentar um modo de limpeza a programação, para que quando houver a opção para até 20 tipos de cerveja seja possível realizar a limpeza da linha a cada troca de cerveja e ao termino do uso.

Para a concepção de um produto final, uma tela maior para melhor visualização das informações apresentadas pelo equipamento se torna necessário, pois a tela atual de 2.4" é demasiadamente pequena.

A iluminação do equipamento como um todo precisa ser estudada para criar efeitos mais chamativos ao usuário final. Um dos pontos mais importantes do equipamento é o apelo estético que este precisa ter, visto que o consumidor final são donos de bares e *Brewpubs*, locais onde já existe uma arquitetura planejada para impressionar e agradar seus clientes. Pelo mesmo motivo o *design* construtivo do equipamento precisa ser melhorado para torná-lo esteticamente atrativo e impressionante aos olhos do usuário final.

Como proposta de trabalho futuro, para atingir o 3º requisito de projeto, há o projeto e construção do *manifold*, equipamento necessário para acoplar os 20 barris de cerveja ao Enchedor de Contrapressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAMFORTH, C. W. (2000). Perceptions of beer foam. *Journal of the Institute of Brewing*, 106(4), 229–238. <http://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2000.tb00062.x>

BEER, FERDINAND P.; JOHNSTON, E. RUSSELL, JR.; DEWOLF, JOHN T. Resistência dos Materiais - 4ª Ed. Mcgraw - hill Interamericana. São Paulo. 2006.

BISHOP, L. R., WHITEAR, A. L., & INMAN, W. R. (1974). a Scientific Basis for Beer Foam Formation and Cling. *Journal of the Institute of Brewing*, 80(1), 68–80. <http://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1974.tb03585.x>

CLÜSSERATH, L. Method Of Operating a Machine For Filling Bottles, Cans or the like beverage containers with a beverage, and a beverage container filling machine (2002). 6463964 B2. United States Of America.

HIBBELER, R. C. Resistência de Materiais - 5ª Ed. Pearson Education. São Paulo. 2004.

HORNSEY, I. (2015). *a History of Beer and Brewing. PhD Proposal (Vol. 1)*. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

KRULITSCH, D.-R. Beverage bottling plant having a filling machine with multiple beverage filling elements, a filling machine with multiple beverage filling elements, a filling element and related method (2013). 8505594 B2. United States Of America.

LEWIS, M. J., & LEWIS, A. S. (2003). Correlation of Beer Foam with Other Beer Properties. *MBAA Technical Quarterly*, 40(2), 114–124.

LYNCH, D. M., & BAMFORTH, C. W. (2002). Measurement and characterization of bubble nucleation in beer. *Journal of Food Science*, 67(7), 2696–2701. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08801.x>

MEINZINGER, R. Method For Filling Containers (2013). 8365780B2. United States of America.

MORAES, T. C. De, TERRA, D. B., DOMINGUES, L. B., & CARDOZO, V. C. (2018). A aplicação do planejamento estratégico para a criação de uma cervejaria artesanal. *Revista Engenharia Em Ação UniToledo*, 22–34.

NIEMANN, G. Elementos de Máquinas, volume 1e 2, 6a ed. Edgard Blücher, 2002.

NORTON, Robert. L. Projeto de Máquinas. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004

ONO, M., HASHIMOTO, S., KAKUDO, Y., NAGAMI, K., & KUMADA, J. (1983). Foaming and Beer Flavor. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 41(1), 19–23. <http://doi.org/10.1094/ASBCJ-41-0019>

POPOV, E. P. Introdução a mecânica dos sólidos. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 4ª reimpressão, 1998.

ROMANO, F. V. (2006). Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 1.

SEBRAE. **Microcervejarias no Brasil**. (2016). Disponível em: <
[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8818d2954be64fcda8628defef1f70f8/\\$File/7503.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/8818d2954be64fcda8628defef1f70f8/$File/7503.pdf)>. Acesso em 16/10/2018.

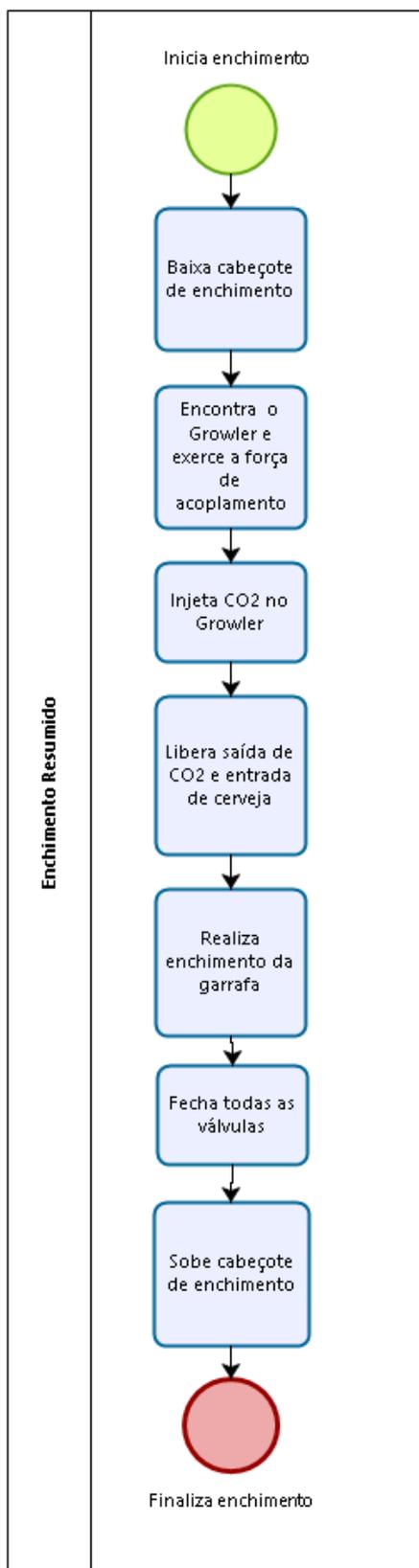
SEBRAE. **Relatório de Inteligência.** (2015). Disponível em:
<<https://sebraeinteligenciasetorial.com.br/produtos/relatorios-de-inteligencia/cervejas-artesanais/55c4ad3614d0c01d007ffeae>>. Acesso em
16/10/2018.

SHIGLEY, J. E. Elementos de máquinas. Rio de Janeiro: LTC, 1984

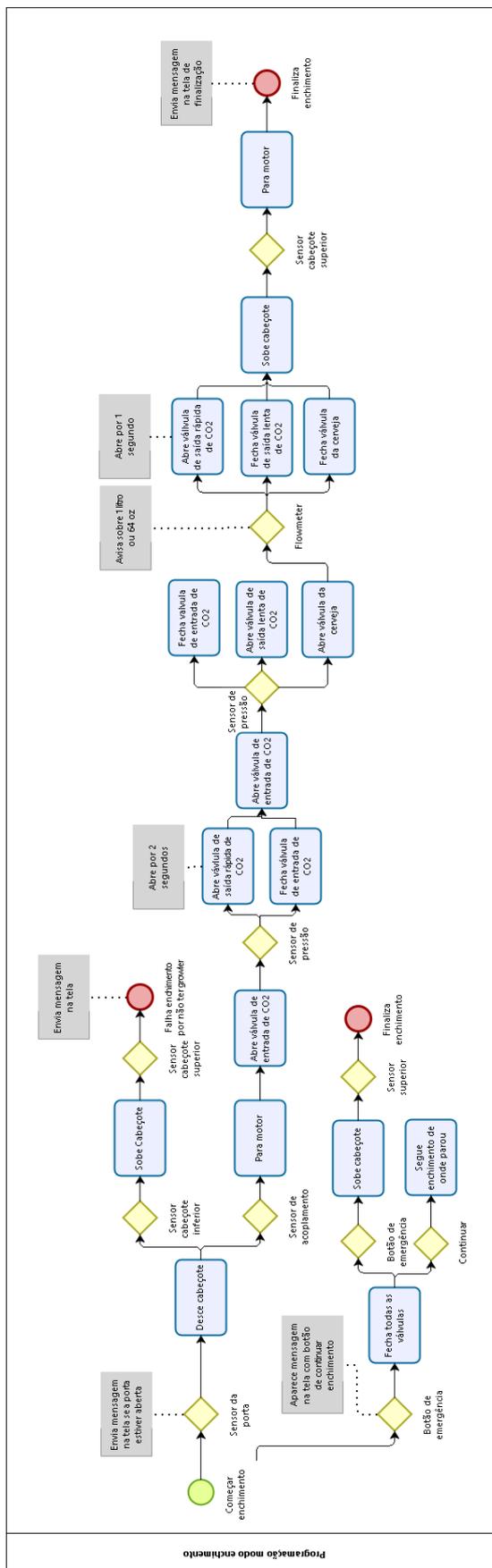
SINDERMANN, S. Bottling Plant For Bottling Carbonated Beverages. (2002).
6470922 B2. United States of America.

ANEXOS

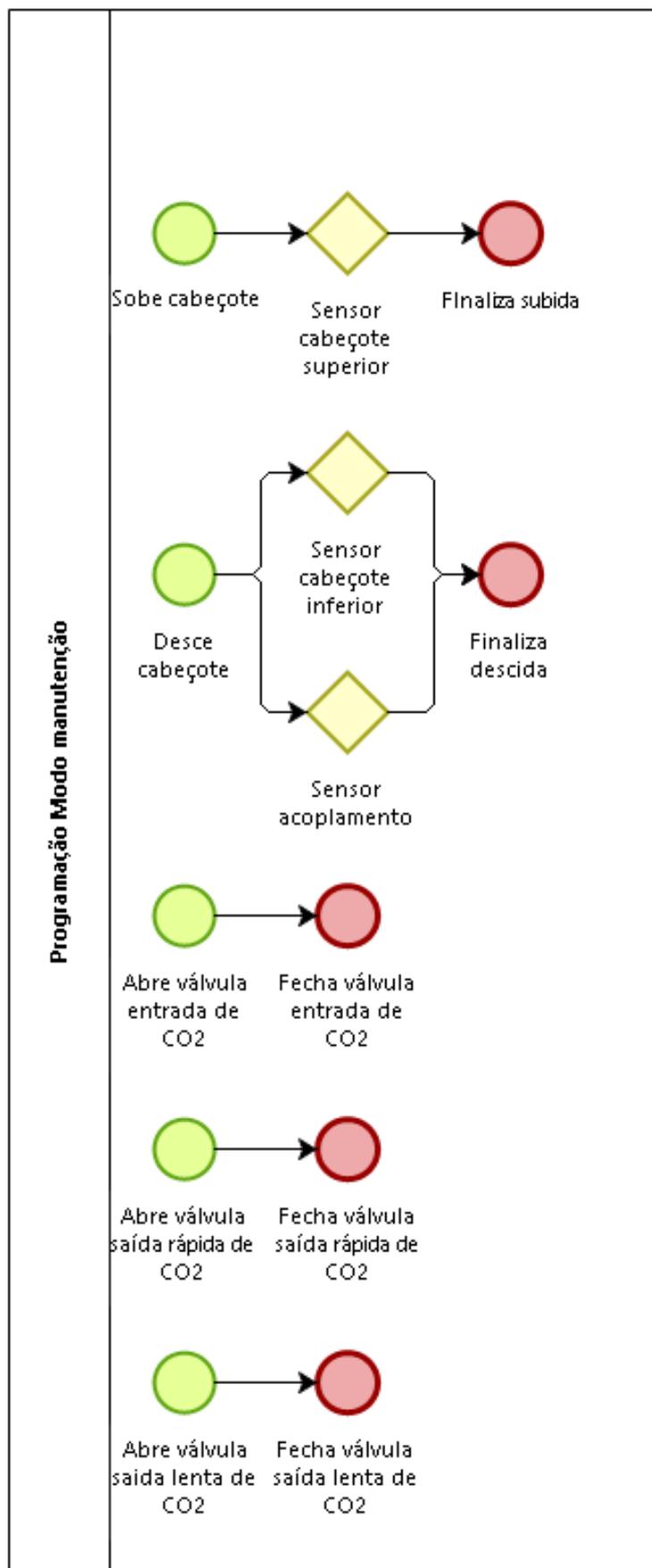
Anexo A – Fluxograma de Enchimento Resumido



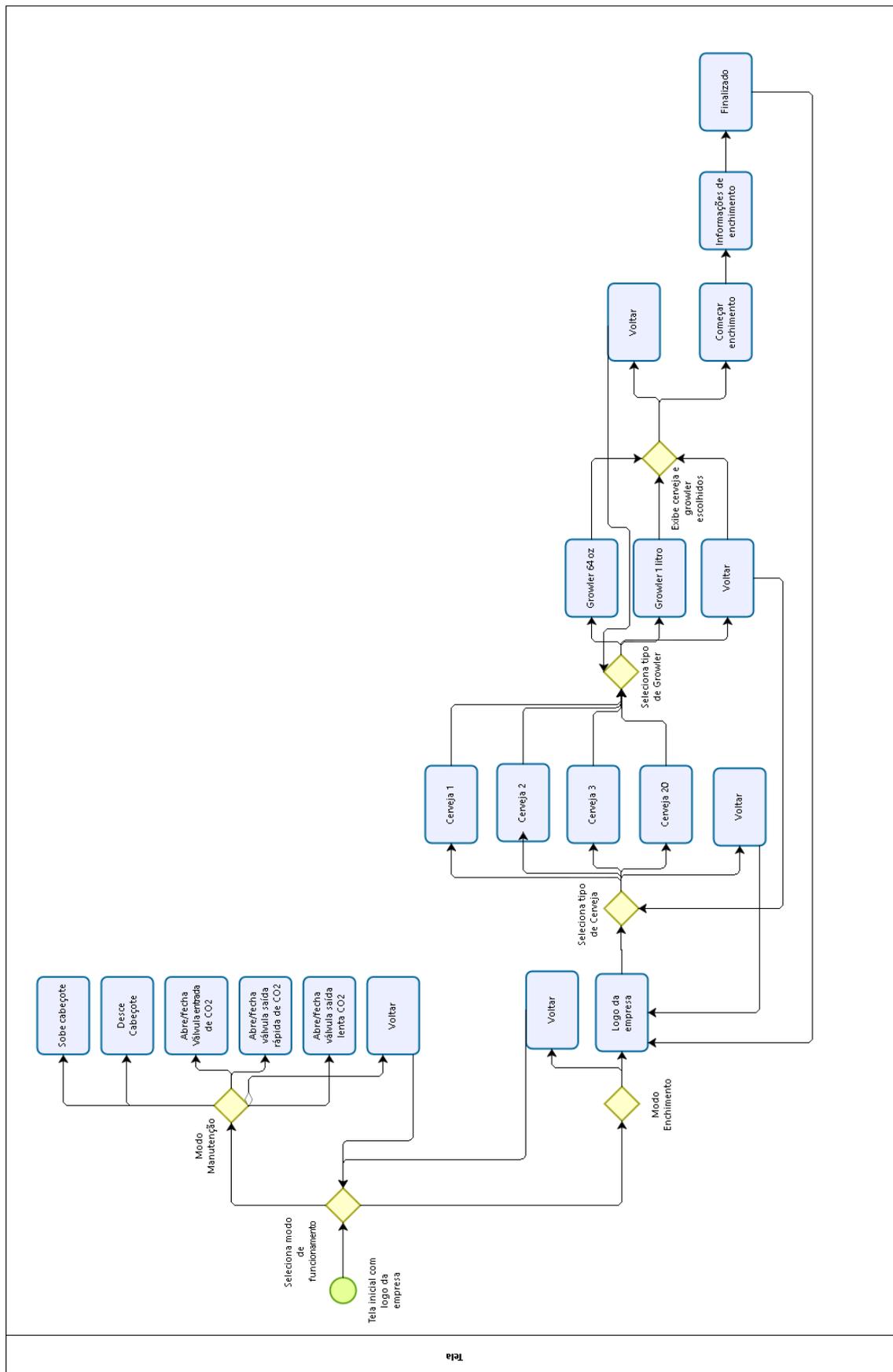
Anexo B – Fluxograma da programação no Modo Enchimento



Anexo C – Fluxograma da programação no Modo Manutenção



Anexo D – Fluxograma de funcionamento da Tela



Anexo E – Programação

```

/* touch stuff */
#include <Arduino.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <UTFTGLUE.h>
#include <TouchScreen.h>
MCUFRIEND_kbv tft;
#include <MCUFRIEND_kbv.h>

#include <Fonts/FreeSans12pt7b.h>
#include <FreeDefaultFonts.h>

#include <math.h>
#include <string.h>

#define TOUCH_ORIENTATION LANDSCAPE
#define USE_UTOUCH 1

#define MINPRESSURE 20
#define MAXPRESSURE 1000

#define YP A1 //A3 for ILI9320
#define YM 7 //9
#define XM A2
#define XP 6 //8

UTFTGLUE myGLCD(0x4535,A2,A1,A3,A4,A0);
TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
TSPoint tp;

// Declare which fonts we will be using
#ifndef BigFont
extern uint8_t BigFont[]; //.kbv GLUE defines as GFXFont ref *****
#endif

enum tftColors {
  tft_black=0x0000,
  tft_blue=0x001F,
  tft_red=0xF800,
  tft_green=0x07e0,
  tft_cyan=0x07FF,
  tft_magenta=0xF81F,
  tft_white=0xFFFF,
  tft_grey=0x8410,
  tft_yellow=0xFFE0,
};

struct tft_dim;

struct tft_point{
  int x;
  int y;
  tft_point(int xx, int yy)
    : x(xx), y(yy)
  {}
  tft_point getXorY(bool wh = true){
    if(wh){
      return tft_point(0, y);
    } else {
      return tft_point(x, 0);
    }
  }
}

```

```

}
tft_point operator +(const tft_dim d);
tft_point operator -(const tft_point p){
    return tft_point(this->x - p.x, this->y - p.y);
};

};

```

```

struct tft_dim {
    int x;
    int y;
    tft_dim(int xx, int yy)
        : x(xx), y(yy)
    {};
    tft_dim(tft_point p)
        : x(p.x), y(p.y)
    {};
    tft_dim getXorY(bool which = false){
        if(which){
            return tft_dim(0, y);
        } else {
            return tft_dim(x, 0);
        }
    }
    tft_dim operator *(const float factor){
        return tft_dim(this->x * factor, this->y * factor);
    };
    tft_dim operator *(const tft_dim a){
        return tft_dim(this->x * a.x, this->y * a.y);
    }
    tft_dim operator +(const tft_dim a){
        return tft_dim(this->x + a.x, this->y + a.y);
    }
    tft_point operator +(const tft_point p){
        return tft_point(this->x + p.x, this->y + p.y);
    }
    tft_dim operator -(const tft_dim a){
        return tft_dim(this->x - a.x, this->y - a.y);
    }
    tft_dim operator /(const int i){
        return tft_dim(this->x / i, this->y / i);
    }
};

```

```

// this would be in a cpp file, or just after dim definition
tft_point tft_point::operator +(const tft_dim d){
    return tft_point(this->x + d.x, this->y + d.y);
}

```

```

// some lcd definitions
tft_point lcd_base_upper_left = tft_point(0, 0);
tft_dim lcd_base_size = tft_dim(320, 240);
tft_point lcd_base_center = tft_point(160, 120);

```

```

tft_dim button_dims = tft_dim(135, 50);
tft_dim font_square_size = tft_dim(13, 20);

```

```
tft_point touch_upper_left = tft_point(180, 910);
tft_point touch_lower_right = tft_point(920, 190);
tft_dim touch_dim = tft_point(touch_lower_right - touch_upper_left);
```

```
tft_point mapTouchToTft(int x, int y){
  // map x
  long int xx = x - touch_upper_left.x;
  long int yy = y - touch_upper_left.y;
  xx *= lcd_base_size.x;
  yy *= lcd_base_size.y;
  xx /= touch_dim.x;
  yy /= touch_dim.y;
  return tft_point(xx, yy);
};
```

```
size_t largestLength(const char* str){
  size_t len = 0;
  while(*str){
    len++;
    str++;
    if(*str == '\n'
        || str == '\r'){
      len = 0;
    }
  }
  return len;
}
```

```
struct tft_rect {
  // members
  tft_point base;
  tft_dim dim;
  // constructor
  tft_rect(tft_point u_l, tft_dim d)
    : base(u_l), dim(d)
  {};
  int middle_x(){
    return (base.x + dim.x/2);
  }
  int middle_y(){
    return (base.y + dim.y/2);
  }
  tft_point middle(){
    return (base + dim/2);
  }
  void draw(int color){
    tft.drawRect(
      base.x,
      base.y,
      dim.x,
      dim.y,
      color);
  };
};
```

```
struct tft_text {
  tft_point base;
  const char* txt;
  int color;
  int txtSize = 1;
```

```

// constructed with center point
tft_text(
  tft_point p,
  const char* text,
  int clr,
  int sz)
: base(p),
  txt(text),
  color(clr),
  txtSize(sz)
{};

void setColor(int clr){color = clr;};
void setText(const char* text){txt = text;};
void setSize(int sz){txtSize = sz;};

void draw(){
  int len = largestLength(txt);
  tft.setCursor( base.x - ((font_square_size.x * len)/2),
                base.y + ((font_square_size.y)/2) );
  tft.setTextColor(color);
  tft.setTextSize(txtSize);
  tft.print(txt);
};

};

struct tft_button : public tft_rect {
  // members
  bool pressed = false;
  tft_text txt;
  int color;
  int color_pressed;
  // constructor
  tft_button(
    tft_point u_l,
    tft_dim dim,
    int color,
    const char* text,
    int color_pressed)
: tft_rect(u_l,dim),
  txt(tft_rect::middle(),
    text,
    color,
    1),
  color(color),
  color_pressed(color_pressed)
{};

void draw(){
  if(pressed){
    tft_rect::draw(color_pressed);
    pressed = false;
  } else {
    tft_rect::draw(color);
  }
  txt.draw();
};

bool isInside(tft_point p){
  if( p.x > base.x
    && p.x < (base.x + dim.x)
    && p.y > base.y
    && p.y < (base.y + dim.y))
  {

```

```

    return true;
}
return false;
};

bool isClicked(tft_point p){
    if(isInside(p)){
        pressed = true;
        return true;
    }
    return false;
};

};

struct tela {
    virtual void draw()=0;
    virtual bool checkPress(tft_point p)=0;
};

/*
 *
 * End of touch stuff *****
 */

// mascara para debug
#define debug(x) Serial.println(x)

// classe para estados da planta
enum class Estados {
    espera_inicio,
    achar_garrafa,
    fail_voltar,
    acoplado,
    enchimento_co2,
    enchimento_cerveja,
    desliga_valvulas,
    finaliza_retorna
};

Estados estado = Estados::espera_inicio;

//MOTOR
const int desce_pin = 25;
const int sobe_pin = 23;

// classe/struct para encapsular motor
namespace motorState {
    enum {up, down, steady};
}
struct {
    int state;
    void sobe(){
        digitalWrite(sobe_pin, LOW);
    }
};

```

```

    digitalWrite(desce_pin, HIGH);
    state = motorState::up;
}
void desce(){
    digitalWrite(sobe_pin, HIGH);
    digitalWrite(desce_pin, LOW);
    state = motorState::down;
}
void stop(){
    digitalWrite(sobe_pin, HIGH);
    digitalWrite(desce_pin, HIGH);
    state = motorState::steady;
}
void begin(){
    pinMode(desce_pin, OUTPUT);
    pinMode(sobe_pin, OUTPUT);
    stop();
}
} motor;

```

```

class mwait{
    unsigned int last = 0;
    unsigned int mdly;
public:
    mwait(unsigned int dly):mdly(dly){};
    bool check(unsigned int cmillis){
        unsigned int diff = cmillis - last;
        if(diff > mdly){
            last = cmillis;
            return true;
        }
        return false;
    };
    void register_last(unsigned int curr){
        last = curr;
    };
};

```

```

mwait main_loop = mwait(100);
mwait debug_loop = mwait(500);
mwait lcd_loop = mwait(2000);
mwait touch_debounce = mwait(350);

```

```

//SENSORES
#include <NewPing.h>

```

```

const int comeocar = 46;
const int terminar = 47;
const int cima = 45;
const int T_cima = 35;
const int E_cima = 37;
const int M_cima = 30;

```

```

NewPing sonarcima(T_cima, E_cima, M_cima);

```

```

const int sensor_cabecote = A10;
#define start A11
//int estado_sensor_cima;
//int estado_sensor_baixo;
//int estado_start;
int estado_comeocar;

```

```

int estado_terminar;
int estado_cima;
int estado_sensor_cabecote;
int antes_sensor_cabecote = LOW;
int atual_sensor_cabecote = LOW;
unsigned int distancia_sonar;

//VALVULAS
const int cerveja = 31;
const int entraco2 = 29;
const int saico2 = 27;

//FLOWMETER

byte sensorPin    = 18;
const float calibrationFactor = 0.2512;
// aumenta fator_inverso, diminui volume liquido que eh dispensado
const float calibrationFactor_inverse = 3.98;
volatile int pulseCount;
float flowRate;
volatile unsigned int flowMilliLitres;
unsigned long totalMilliLitres;
unsigned int oldTime;

unsigned int total_ml_counter = 0;
volatile unsigned int total_ml = 0;
unsigned int total_ml_counter_target = 0;
unsigned int diff_ml_counter = 0;

// para o LCD
char totalMLChar[20], flowMLChar[20];

/*
 *      agora      são      os      componentes      dependentes      do      programa
*****88
 */

enum class LCDStates {
    inicial,
    escolhe_operacao,
    escolhe_cerveja,
    escolhe_growler,
    apresenta_escolha,
    apresenta_processo,
    apresenta_finalizado,
    tela_manutencao
};

LCDStates lcd_estado = LCDStates::inicial;

namespace lcd {
    auto tela_background = tft_black;
    auto button_background = tft_blue;
    auto button_text = tft_red;
    auto border_left = tft_dim(15,0);
    auto border_top = tft_dim(0,20);
};

```

```

struct : public tela {
    const char* txt = "Pressione para comecar";
    tft_text t1 = tft_text(lcd_base_center, txt, lcd::button_text, 1);
    void draw(){
        tft.fillScreen(lcd::tela_background);
        t1.draw();
    };
    bool checkPress(tft_point p){
        lcd_estado = LCDStates::escolhe_operacao;
        return true;
    };
} splash;

```

```

struct : public tela {
    tft_text title = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top,
        (const char*)"Escolha Operacao",
        lcd::button_text,
        1);
    tft_button ench = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_left + lcd::border_top*2,
        button_dims,
        tft_white,
        "Enchimento",
        tft_red);
    tft_button manu = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_left + lcd::border_top*3 + button_dims.getXorY(true),
        button_dims,
        tft_white,
        "Manutencao",
        tft_red);
    void draw(){
        tft.fillScreen(lcd::tela_background);
        title.draw();
        ench.draw();
        manu.draw();
    }
    bool checkPress(tft_point p){
        if(ench.isClicked(p)){
            lcd_estado = LCDStates::escolhe_cerveja;
            return true;
        }
        if(manu.isClicked(p)){
            lcd_estado = LCDStates::tela_manutencao;
            return true;
        }
        return false;
    }
} tela_operacao;

```

```

struct list_entry {
    const char* nome;
    int value;
};

```

```

list_entry cerveja_list[] = {
    {"Weiss", 31},
    {"APA", 54},
    {"IPA", 64},
    {"Red Ale", 46},
};

```

```

int cerveja_list_max = sizeof(cerveja_list)/sizeof(list_entry);

int cList_item = 0;
list_entry* cList_iPtr = &cerveja_list[0];

void cList_next(){
    cList_item++;
    if(cList_item == cerveja_list_max){
        cList_item = 0;
    }
    cList_iPtr = &cerveja_list[cList_item];
}
void cList_prev(){
    if(cList_item == 0){
        cList_item = cerveja_list_max;
    }
    cList_item--;
    cList_iPtr = &cerveja_list[cList_item];
}

struct : public tela {
    tft_text title = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top,
        (const char*)"Escolha Cerveja",
        lcd::button_text,
        1);
    tft_text cerveja = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top*3,
        cList_iPtr->nome,
        lcd::button_text,
        2);

    tft_button dec = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_top*2 + lcd::border_left + button_dims.getXorY(true)*1,
        button_dims,
        tft_white,
        "<",
        tft_red);
    tft_button inc = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_top*2 + lcd::border_left*2 + button_dims.getXorY(true)*1 +
button_dims.getXorY(false),
        button_dims,
        tft_white,
        ">",
        tft_red);
    tft_button ok = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_top*3 + lcd::border_left + button_dims.getXorY(true)*2,
        button_dims*tft_dim(2,1.5) + lcd::border_left,
        tft_white,
        "OK",
        tft_red);
    void draw(){
        tft.fillScreen(lcd::tela_background);
        title.draw();
        cerveja.setText(cList_iPtr->nome);
        cerveja.draw();
        inc.draw();
        dec.draw();
        ok.draw();
    }
    bool checkPress(tft_point p){
        if(inc.isClicked(p)){
            cList_next();
        }
    }
}

```

```

        return true;
    }
    if(dec.isClicked(p)){
        cList_prev();
        return true;
    }
    if(ok.isClicked(p)){
        lcd_estado = LCDStates::escolhe_growler;
        return true;
    }
    return false;
}
} tela_cerveja;

// nome/texto
// tamanho em mL
list_entry GrowlerSize[] = {
    {"1L", 1000},
    {"1.9L", 1700},
};

list_entry* growler_size_escolhido = &GrowlerSize[0];

struct : public tela {
    tft_text title = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top,
        (const char*)"Escolha Growler",
        lcd::button_text,
        1);
    tft_button small = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_top*2 + lcd::border_left + button_dims.getXorY(true)*1,
        button_dims,
        tft_white,
        GrowlerSize[0].nome,
        tft_red);
    tft_button large = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_top*2 + lcd::border_left*2 + button_dims.getXorY(true)*1 +
        button_dims.getXorY(false),
        button_dims,
        tft_white,
        GrowlerSize[1].nome,
        tft_red);
    void draw(){
        tft.fillScreen(lcd::tela_background);
        title.draw();
        small.draw();
        large.draw();
    }
    bool checkPress(tft_point p){
        if(small.isClicked(p)){
            growler_size_escolhido = &GrowlerSize[0];
            lcd_estado = LCDStates::apresenta_escolha;
            return true;
        }
        if(large.isClicked(p)){
            growler_size_escolhido = &GrowlerSize[1];
            lcd_estado = LCDStates::apresenta_escolha;
            return true;
        }
        return false;
    }
} tela_growler;

```

```

struct : public tela {
    tft_text title = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top,
        (const char*)"Confirme a Escolha",
        lcd::button_text,
        1);
    tft_text cerveja_txt = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top*3,
        cList_iPtr->nome,
        lcd::button_text,
        2);
    tft_text growler = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top*5,
        growler_size_escolhido->nome,
        lcd::button_text,
        2);

    tft_button voltar = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_top*5 + lcd::border_left + button_dims.getXorY(true)*1,
        button_dims,
        tft_white,
        "Voltar",
        tft_red);
    tft_button ok = tft_button(
        lcd_base_upper_left + lcd::border_top*5 + lcd::border_left*2 + button_dims.getXorY(true)*1 +
button_dims.getXorY(false),
        button_dims,
        tft_white,
        "OK",
        tft_red);
    void draw(){
        tft.fillScreen(lcd::tela_background);
        title.draw();
        cerveja_txt.setText(cList_iPtr->nome);
        cerveja_txt.draw();
        growler.setText(growler_size_escolhido->nome);
        growler.draw();
        voltar.draw();
        ok.draw();
    }
    bool checkPress(tft_point p){
        if(voltar.isClicked(p)){
            lcd_estado = LCDStates::escolhe_cerveja;
            return true;
        }
        if(ok.isClicked(p)){
            lcd_estado = LCDStates::apresenta_processo;
            estado_comecar = 1;
            return true;
        }
        return false;
    }
} tela_escolha;

```

```

struct : public tela{
    tft_text title = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top,
        (const char*)"Enchendo",
        lcd::button_text,
        1);
    tft_text total = tft_text(
        lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top + font_square_size*tft_dim(0,2),
        totalMLChar,
        lcd::button_text,

```

```

1);
tft_text flow = tft_text(
  lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top + font_square_size*tft_dim(0,4),
  flowMLChar,
  lcd::button_text,
  1);
void draw(){
  tft.fillScreen(lcd::tela_background);
  title.draw();
  total.draw();
  flow.draw();
}
bool checkPress(tft_point p){
  return false;
}
} tela_processo;

struct : public tela {
  const char* txt = "Finalizado!";
  tft_text t1 = tft_text(lcd_base_center, txt, lcd::button_text, 1);
  void draw(){
    tft.fillScreen(lcd::tela_background);
    t1.draw();
  };
  bool checkPress(tft_point p){
    return false;
  };
} tela_finalizado;

struct : public tela {
  tft_text title = tft_text(
    lcd_base_center.getXorY(false) + lcd::border_top,
    (const char*)"Manutencao",
    lcd::button_text,
    1);
  tft_button desce = tft_button(
    lcd_base_upper_left + lcd::border_top*2 + lcd::border_left,
    button_dims,
    tft_white,
    "Desce",
    tft_red);
  tft_button sobe = tft_button(
    lcd_base_upper_left + lcd::border_top*2 + lcd::border_left*2 + button_dims.getXorY(false),
    button_dims,
    tft_white,
    "Sobe",
    tft_red);
  tft_button voltar = tft_button(
    lcd_base_upper_left + lcd::border_top*3 + lcd::border_left + button_dims.getXorY(true)*2,
    button_dims,
    tft_white,
    "Voltar",
    tft_red);
  tft_button parar = tft_button(
    lcd_base_upper_left + lcd::border_top*3 + lcd::border_left*2 + button_dims.getXorY(false) +
    button_dims.getXorY(true)*2,
    button_dims,
    tft_white,
    "Parar",
    tft_red);
  void draw(){
    tft.fillScreen(lcd::tela_background);

```

```

    title.draw();
    sobe.draw();
    desce.draw();
    voltar.draw();
    parar.draw();
}
bool checkPress(tft_point p){
    // todo: add other button actions
    if(voltar.isClicked(p)){
        lcd_estado = LCDStates::escolhe_operacao;
        return true;
    }
    if(sobe.isClicked(p)){
        motor.sobe();
        return true;
    }
    if(desce.isClicked(p)){
        motor.desce();
        return true;
    }
    if(parar.isClicked(p)){
        motor.stop();
        return true;
    }
    return false;
}
} tela_manutencao;

//*****

void calcula_total_flowmeter();

void setup(){
    Serial.begin(115200);

    delay(1000);

    //MOTOR
    motor.begin();

    calcula_total_flowmeter();

    //SENSORES
    pinMode(cima, INPUT);
    pinMode(comecar, INPUT);
    pinMode(terminar, INPUT);
    pinMode(sensor_cabecote, INPUT);

    //VALVULAS
    pinMode(cerveja, OUTPUT);
    pinMode(entraco2, OUTPUT);
    pinMode(saico2, OUTPUT);

    motor.stop();
    digitalWrite(cerveja, HIGH);
    digitalWrite(entraco2, HIGH);
    digitalWrite(saico2, HIGH);

    //FLOWMETER
    pinMode(sensorPin, INPUT);

    pulseCount    = 0;
    flowRate      = 0.0;
    flowMilliLitres = 0;
    totalMilliLitres = 0;

```

```

oldTime      = 0;

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensorPin), pulseCounter, FALLING);

// TOUCH
tft.reset();
randomSeed(analogRead(5));
pinMode(A0, OUTPUT);
digitalWrite(A0, HIGH);

ts = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
uint16_t ID = tft.readID();
if(ID == 0xD3){
  ID = 0x9481;
}
tft.begin(ID);
tft.setRotation(1);
tft.setFont(&FreeSans12pt7b);
troca_tela();
}

#define cst(chek) if(estado == Estados::chek)

#define tst(chek) if(lcd_estado == LCDStates::chek)

tela* tela_ptr = &splash;

// se retorna verdadeiro, redesenha
bool troca_tela(){
  static int update_counter = 0;
  tst(inicial){
    tela_ptr = &splash;
  }
  tst(escolhe_operacao){
    tela_ptr = &tela_operacao;
  }
  tst(escolhe_cerveja){
    tela_ptr = &tela_cerveja;
  }
  tst(escolhe_growler){
    tela_ptr = &tela_growler;
  }
  tst(apresenta_escolha){
    tela_ptr = &tela_escolha;
  }
  tst(apresenta_processo){
    tela_ptr = &tela_processo;
    sprintf(totalMLChar, "%d mL", total_ml);
    sprintf(flowMLChar, "%d mL/min", flowMilliLitres);
    cst(fail_voltar){
      lcd_estado = LCDStates::apresenta_finalizado;
      return true;
    }
    cst(finaliza_retorna){
      lcd_estado = LCDStates::apresenta_finalizado;
      return true;
    }
  }
  tst(apresenta_finalizado){
    if(update_counter > 4){
      update_counter = 0;
    }
  }
}

```

```

    lcd_estado = LCDStates::inicial;
    return true;
} else if(update_counter == 0) {
    update_counter++;
    tela_ptr = &tela_finalizado;
} else {
    update_counter++;
    return false;
}
}
tst(tela_manuntencao){
    tela_ptr = &tela_manuntencao;
}
tela_ptr->draw();
return false;
}

// defines para troca de estado
#define sst(ssd) estado = Estados::ssd;

bool troca_estado(){
    if(estado_terminar == 1){
        motor.stop();
        sst(desliga_valvulas);
        return true;
    }

    // espera inicio de processo
    cst(espera_inicio){
        if(estado_comecar != 0 && estado_cima == 1){
            estado_comecar = 0;
            calcula_total_flowmeter();
            sst(achar_garrafa);
            return true;
        }
    }

    cst(achar_garrafa){
        if(distancia_sonar > 100){
            sst(fail_voltar);
            return true;
        }
        if(estado_sensor_cabecote < 500){
            sst(acoplado);
            return true;
        }
    }

    if(estado_cima == 1 && motor.state == motorState::up){
        motor.stop();
    }
    if(estado_sensor_cabecote < 400 && motor.state == motorState::down){
        motor.stop();
    }

    // nao achou garrafa
    cst(fail_voltar){
        if(estado_cima == 1){
            sst(espera_inicio);
            return true;
        }
    }
}

```

```

cst(acoplado){
  sst(enchimento_co2);
  return true;
}

cst(enchimento_co2){
  // para somente com tempo
  sst(enchimento_cerveja);
  return true;
}

// handled in irq
// cst(enchimento_cerveja){
//   if(total_ml > growler_size_escolhido->value){
//     sst(desliga_valvulas)
//     return true;
//   }
// }

cst(desliga_valvulas){
  sst(finaliza_retorna);
  return true;
}

cst(finaliza_retorna){
  if(estado_cima == 1){
    motor.stop();
    sst(espera_inicio);
    return true;
  }
}

return false;
}

void mostra_flowmeter(){
  unsigned int cmils = millis();
  unsigned int tempo = (cmils - oldTime); // millis
  tempo /= 1000; // segundos
  // calcula ml por segundo
  total_ml_counter = pulseCount;
  total_ml = total_ml_counter * calibrationFactor;

  flowRate = (total_ml_counter - diff_ml_counter) / tempo;
  flowRate *= calibrationFactor;
  oldTime = cmils;
  diff_ml_counter = total_ml_counter;

  flowMilliLitres = flowRate*60;

  Serial.print("Flow rate: ");
  Serial.print(flowMilliLitres);
  Serial.print("mL/min");
  Serial.print("\n");

  Serial.print("Output Liquid Quantity: ");
  Serial.print(total_ml);
  Serial.println("mL");
}

void calcula_total_flowmeter(){

```

```

pulseCount = 0;
total_ml_counter_target = growler_size_escolhido->value;
debug(total_ml_counter_target);
total_ml_counter_target *= calibrationFactor_inverse;
debug("pulsosfff: ");
debug((float)total_ml_counter_target);

// total_ml_counter = pulseCount;
// total_ml = total_ml_counter * calibrationFactor_inverse;
}

void print_debugs(){
  debug(estado_cima);
  debug(estado_comecar);
  debug(estado_terminar);

  debug("estado eh");
  debug((int)estado);
  debug("tempo");
  debug(millis());
  debug("sonar");
  debug(distancia_sonar);
  debug(estado_sensor_cabecote);

  // debug("pulsos: ");
  // debug(total_ml_counter_target);

}

void executa_acoes_planta(){
  switch(estado){
    case Estados::espera_inicio:
      motor.stop();
      Serial.println("Esperando");
      break;

    case Estados::achar_garrafa:
      motor.desce();
      Serial.println(" Descendo ");
      break;

    case Estados::fail_voltar:
      motor.sobe();
      Serial.println(" Subindo ");
      break;

    case Estados::acoplado:
      motor.stop();
      Serial.println(" Na garrafa ");
      break;

    case Estados::enchimento_co2:
      Serial.println(" Acoplado ");
      delay(1000);
      digitalWrite(entraco2, LOW);
      delay(7000);
      digitalWrite(entraco2, HIGH);
      delay(500);
      digitalWrite(cerveja, LOW);
      digitalWrite(saico2, LOW);
      oldTime = millis();
      delay(500);
      break;

    case Estados::enchimento_cerveja:

```

```

    Serial.println(" Enchendo ");
    mostra_flowmeter();
    break;

case Estados::desliga_valvulas:
    pulseCount = 0;
    totalMilliLitres = 0;
    total_ml_counter = 0;
    total_ml = 0;
    Serial.println(" Fechando Válvulas ");
    digitalWrite(cerveja, HIGH);
    digitalWrite(saico2, HIGH);
    delay(2000);
    break;

case Estados::finaliza_retorna:
    Serial.println(" Desacoplando ");
    motor.sobe();
    Serial.println(" Finalizado o enchimento ");
    break;
}
}

bool irq_action = false;
void pulseCounter()
{
    // Increment the pulse counter
    pulseCount++;
    cst(enchimento_cerveja){
        if(pulseCount >= total_ml_counter_target){
            sst(desliga_valvulas);
            irq_action = true;
        }
    }
}

bool pega_toque(){
    auto cmils = millis();
    if( not touch_debounce.check(cmils)){
        return false;
    }
    tp = ts.getPoint();
    pinMode(YP, OUTPUT);
    pinMode(XM, OUTPUT);
    if(tp.z > 3){
        // debug("touch at ");
        // debug(tp.x);
        // debug(tp.y);
        // debug(tp.z);
        touch_debounce.register_last(cmils);
        auto fuck = mapTouchToTft(tp.x, tp.y);
        // debug("mapping is");
        // debug(fuck.x);
        // debug(fuck.y);
        tft.fillRect(fuck.x, fuck.y, 10, 10, tft_white);
        auto &t_tela = *tela_ptr;
        return t_tela.checkPress(fuck);
        // return false;
    }
    return false;
}
}

```

```

//*****

void loop(){

  bool state_diff = false;

  char rd = Serial.read();
  if(rd != -1){
    // troca estado
    switch(rd){
      case '0':
      case '1':
      case '2':
      case '3':
      case '4':
      case '5':
      case '6':
      case '7':
      case '8':
      case '9':
        estado = (Estados) (rd-'0');
        state_diff = true;
        break;
      case 'a':
      case 'b':
      case 'c':
      case 'd':
      case 'e':
      case 'f':
      case 'g':
      case 'h':
      case 'i':
        lcd_estado = (LCDStates) (rd-'a');
        state_diff = true;
        break;
    };
  }

  static bool timeout = false;
  timeout = false;
  static mwait lcd_auto_update = mwait(1000);
  if(lcd_estado == LCDStates::apresenta_processo
    || lcd_estado == LCDStates::apresenta_finalizado){
    // force update lcd
    if(lcd_auto_update.check(millis())){
      timeout = true;
    }
  }

  bool toque = pega_toque();

  // read no sensors for now
  // return;

  // executa sempre a cada ciclo de loop
  estado_sensor_cabecote = analogRead(sensor_cabecote);

```

```
estado_cima = digitalRead(cima);
// estado_comecar = digitalRead(comecar);   agora vai ser configurado via LCD
estado_terminar = digitalRead(terminar);

distancia_sonar = sonarcima.ping_cm();

unsigned int cmils = millis();

// chama troca de estados
// executa se há troca de estado
bool estado_diff = false;
if(not irq_action){
    estado_diff = troca_estado();
}

// just cycle at them, so we print the screens?
if(toque || timeout || estado_diff){
    // executa print telas
    troca_tela();
}

// se há troca de estado, executa acoes na planta
if(irq_action || estado_diff || (estado == Estados::enchimento_cerveja && timeout)){
    irq_action = false;
    executa_acoes_planta();
}

// dá print nos debugs
if( debug_loop.check(cmils) ){
    print_debugs();
}

}
```