

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BRUNO F. FAJARDO PUHL

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NOS PROCESSOS DE  
UMA MICROCERVEJARIA**

Porto Alegre

2021

BRUNO F. FAJARDO PUHL

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NOS PROCESSOS DE  
UMA MICROCERVEJARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina de Almeida Silva

Coorientador: Prof. Dr. Gean Paulo Michel

Porto Alegre

2021

#### CIP - Catalogação na Publicação

Puhl, Bruno Felipe Fajardo Puhl  
UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NOS  
PROCESSOS DE UMA MICROCERVEJARIA / Bruno Felipe  
Fajardo Puhl Puhl. -- 2021.  
70 f.  
Orientadora: Maria Cristina de Almeida Silva.

Coorientador: Gean Paulo Michel.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia  
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Gestão Ambiental. 2. Produção mais limpa. 3.  
Indicadores Ambientais. 4. Microcervejaria. I. Silva,  
Maria Cristina de Almeida, orient. II. Michel, Gean  
Paulo, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

BRUNO F. FAJARDO PUHL

**UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA NOS PROCESSOS DE  
UMA MICROCERVEJARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: Porto Alegre, 01 de dezembro de 2021.

Banca examinadora:

---

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Cristina de Almeida Silva (IPH/UFRGS)

---

Me. Maurício Andrades Paixão (PPGRHSA/IPH/UFRGS)

---

Me. Lígia Conceição Tavares (PPGRHSA/IPH/UFRGS)

## RESUMO

A cidade de Porto Alegre já se destaca a nível nacional com a expansão da produção de cerveja por microcervejarias, sendo reconhecida como um dos polos cervejeiros do país. Esse processo é característico por consumir grandes quantidades de recursos hídricos, além de alta emissão de resíduos sólidos e emissões de efluentes líquidos decorrentes do processo de fabricação. Neste contexto, o presente trabalho busca utilizar os conceitos de gestão ambiental junto à aplicação da metodologia de produção mais limpa em uma microcervejaria de Porto Alegre, para mapear as inconformidades ambientais e identificar oportunidades de ações para produção mais limpa, a fim de reduzir a emissão de resíduos e o consumo de água e energia na produção de cerveja. Na microcervejaria foram elaborados os fluxogramas do processo produtivo, a criação de indicadores ambientais, identificação de inconformidades ambientais e propostas de produção mais limpa. Com a aplicação de parte da metodologia de produção mais limpa, proposta pelo Centro Nacional de Tecnologia, foi possível identificar e propor oportunidades de produção mais limpa e, assim, gerar para a microcervejaria uma ferramenta de gestão ambiental que possibilite o melhor controle e condução de seus processos de produção e de seus aspectos ambientais.

Palavras-chave: Gestão ambiental. Produção mais Limpa. Microcervejaria. Indicadores ambientais.

## **ABSTRACT**

The city of Porto Alegre already stands out nationally with the expansion of beer production by microbreweries, being recognized as one of the brewing centers in the country. This process is characteristic for consuming large amounts of water resources, in addition to high emission of solid waste and liquid effluents resulting from the manufacturing process. In this context, this work seeks to use the concepts of environmental management together with the application of a cleaner production methodology in a microbrewery in Porto Alegre, to map environmental non-conformities and identify opportunities for actions for cleaner production, in order to reduce waste, emissions, water and energy consumption in beer production. In the microbrewery, flowcharts of the production process were drawn up, creation of environmental indicators, identification of environmental non-conformities and proposals for cleaner production. With the application of part of the cleaner production methodology, proposed by the National Technology Center, it was possible to identify and propose cleaner production opportunities and, thus, generate an environmental management tool for the microbrewery that enables better control and conduct of processes production and environmental aspects.

**Keywords:** Environmental management. Cleaner production. Microbrewery. Environmental indicators.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Definição de Produção mais Limpa.....	17
Figura 2 – Etapas de aplicação da P+L.....	19
Figura 3 – Estratégias da P+L .....	21
Figura 4 – Representação da força centrífuga realizada pelo redemoinho .....	28
Figura 5 - Etapas de P+L aplicadas na microcervejaria .....	35
Figura 6 – Fluxograma do processo de produção da microcervejaria .....	42
Figura 7 – Fluxograma do processo de CIP.....	43
Figura 8 – Análise qualitativa e quantitativa do processo .....	44
Figura 9 – Análise qualitativa e quantitativa do processo de CIP.....	45
Figura 10 – Elementos do processo para oportunidades de P+L .....	52
Figura 11 – Identificação dos pontos com oportunidades de P+L na produção .....	53
Figura 12 – Fluxograma com pontos críticos do CIP.....	55
Figura 13 - Moagem de Malte.....	65
Figura 14 - Adição de malte na mostura.....	66
Figura 15 - Coleta de bagaço de malte .....	67
Figura 16 - Final da Mosturação .....	68
Figura 17 - Coletor do bagaço de malte.....	69
Figura 18 - Final da fervura .....	70
Figura 19 - Tanques de fermentação .....	71
Figura 20 - Coleta de excesso de leveduras e lúpulo.....	72
Quadro 1 – Técnicas de produção mais limpa.....	18
Quadro 2 – Proposta de inserção de conceitos do P+L nos requisitos da NBR ISO 14001 ....	23
Quadro 3 – Possibilidades de P+L a partir de pontos críticos.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição gravimétrica dos resíduos .....	47
Tabela 2 – Volumes utilizados nos processos de CIP.....	48
Tabela 3 – Volume de água para as produções .....	48
Tabela 4 – Volume de água no processo de limpeza de barril .....	49
Tabela 5 – Água consumida .....	49
Tabela 6 – Índice do consumo energético .....	51

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CIP	Cleaning in Place
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
ICA	Indicador de consumo de água
ICE	Indicador de consumo de energia
IRS	Indicador de resíduos sólidos
P+L	Produção mais Limpa
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
UNEP	United Nations Environment Programme
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL.....	16
2.2	PRODUÇÃO MAIS LIMPA .....	16
2.3	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	19
2.4	NBR ISO 14001 .....	22
<b>3</b>	<b>PRINCIPAIS INSUMOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE CERVEJA ...</b>	<b>24</b>
3.1	ÁGUA.....	24
3.2	MALTE.....	24
3.3	LÚPULO.....	24
3.4	LEVEDURA .....	25
<b>4</b>	<b>PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CERVEJA .....</b>	<b>26</b>
4.1	MOAGEM .....	26
4.2	MOSTURAÇÃO.....	26
4.3	FILTRAÇÃO .....	27
4.4	FERVURA .....	27
4.5	RESFRIAMENTO .....	28
4.6	FERMENTAÇÃO .....	29
4.7	MATURAÇÃO .....	31
4.8	ENVASE.....	31
4.9	LIMPEZA .....	32
4.10	RESÍDUOS E EFLUENTES GERADOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA .....	32
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
5.1	PRÁTICA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	34
5.2	ETAPA 1.....	35
5.3	ETAPA 2.....	35
5.4	ETAPA 3.....	36
5.4.1	Balanco de massa .....	36

5.4.2	Resíduos Gerados .....	37
5.4.3	Consumo de água .....	37
5.4.4	Consumo energético .....	38
5.5	ETAPA 1 .....	39
5.6	ETAPA 2 .....	39
5.6.1	Fluxograma do processo de produção .....	40
5.6.2	Fluxograma do processo de CIP .....	42
5.6.3	Fluxo qualitativo e quantitativo dos processos .....	44
5.6.4	Seleção do foco de avaliação .....	45
5.7	ETAPA 3 .....	45
5.7.1	Balanço de massa .....	45
5.7.2	Resíduos Gerados .....	46
5.7.3	Consumo de água .....	47
5.7.4	Consumo energético .....	50
5.7.5	Identificação das opções de Produção mais Limpa .....	51
5.7.6	Identificação das opções de Produção mais Limpa no CIP .....	54
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Hoffman (2001), o desenvolvimento do ambientalismo corporativo, como parte estratégica e econômica, é um dos maiores avanços que passaram a ocorrer nos mercados no início do século XXI. As empresas mais organizadas passam a ultrapassar as metodologias de reação (tratamento) e direcionam seus esforços na prevenção. Estas organizações, ao se preocuparem com a sustentabilidade de seus processos, melhoram suas práticas e futuras ações (SILVA; MEDEIROS, 2006). A utilização da metodologia Produção mais Limpa (P+L) reforça essa mudança de comportamento, visto que as técnicas de P+L se qualificam como ferramentas de gestão ambiental (CNTL, 2003). Essa busca por soluções e melhorias, com a utilização dessas ferramentas de gestão ambiental, faz com que a organização se fortaleça e se beneficie com ganhos ambientais, econômicos e organizacionais (SICSÚ; SILVA FILHO, 2003).

Aplicar a metodologia de Produção mais Limpa é uma tarefa desafiadora. No entanto, mesmo com as suas dificuldades de implementação, é possível aperfeiçoar as etapas de planejamento, expandir e ampliar o negócio, e principalmente, ter o resultado simultâneo de benefícios ambientais e econômicos na gestão dos processos (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

O mercado brasileiro de cervejas artesanais, segundo dados do SEBRAE (2015), tem um crescimento expressivo de 36%, somente no triênio de 2012 a 2014, e seguido de 39,6% no ano de 2016 (MAPA, 2017). A cidade de Porto Alegre tem destaque nacional no cenário das microcervejarias pelo expressivo número de 40 cervejarias registradas, ocupando, assim, o posto de município com maior concentração de cervejarias do Brasil (MÜLLER; MARCUSSO, 2020).

Compreendendo a expansão das microcervejarias em Porto Alegre e no Brasil, é fundamental o desenvolvimento de estratégias para minimização dos resíduos e emissões dos seus processos produtivos, aliando ganhos ambientais, econômicos e organizacionais. Logo, a utilização de metodologias de gestão ambiental como a Produção mais Limpa é uma possibilidade de prevenir e reduzir os impactos ambientais possíveis no processo de uma microcervejaria que se assemelham aos processos das 40 cervejarias de Porto Alegre, registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em utilizar a metodologia de Produção mais Limpa para identificar oportunidades de reduzir os impactos gerados pelo processo de produção de cerveja em uma microcervejaria, ajudando no desenvolvimento da produção de cerveja por microcervejarias com minimização e redução dos resíduos e emissões.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Propor a utilização da metodologia P+L em uma microcervejaria;
- Construir o fluxograma do processo de produção;
- Realizar o balanço de massa da produção de cerveja;
- Propor indicadores ambientais para as grandezas de interesse do processo de P+L;
- Identificar as opções de práticas de P+L para minimizar e reduzir os resíduos e as emissões do processo de produção de cerveja.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL

O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) representa um conjunto de práticas, planejamentos e ações de natureza social, técnica, econômica e produtiva. Tem como objetivo exercer um papel coerente com a ideia de uso e conservação dos recursos naturais e redução dos impactos ambientais, orientando-se pelas legislações ambientais determinadas (NASCIMENTO, 2012; DAL FORNO, 2017).

A gestão ambiental tem se mostrado uma importante ferramenta de competitividade para as organizações produtivas de diversos setores. Mudanças na comercialização e no consumo ocorrem a partir dessa atenção aos impactos ambientais causados pelos processos produtivos. Nesse sentido, surge uma necessidade pela construção de procedimentos sistemáticos, a fim de gerenciar e controlar os impactos ambientais.

O SGA é um sistema de gerenciamento interno da empresa, no qual objetiva elevar o potencial competitivo aliado às práticas ambientais da organização. A P+L, como estratégia aplicada à gestão ambiental, é indicada como uma ferramenta que possibilita o funcionamento da empresa de modo social e ambientalmente responsável, ocasionando também influência em melhorias econômicas e tecnológicas, aplicando uma abordagem preventiva de gestão ambiental (SICSÚ; SILVA FILHO, 2003)

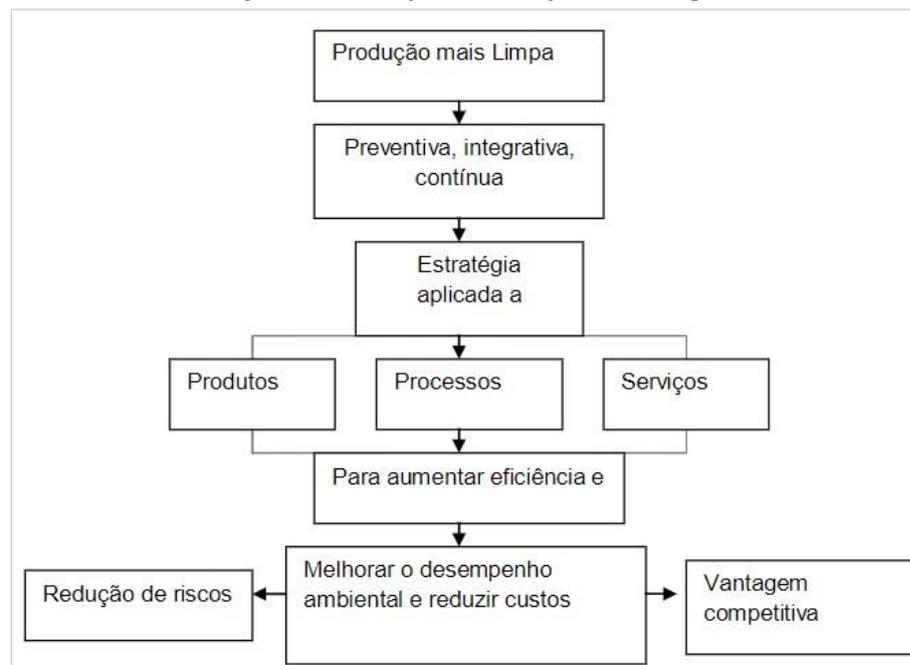
O SGA, com base na norma ISO 14001:2004, é o mais conhecido e utilizado atualmente. A norma não estabelece critérios de desempenho ambiental da organização, mas fornece requisitos para as empresas alcançarem seus objetivos propostos de acordo com a política ambiental estabelecida.

### 2.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Produção mais Limpa é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômica (CNTL, 2003). Para Lacombe e Heilborn (2015), a P+L é a “aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada, nos processos produtivos, nos produtos e nos serviços, para reduzir os riscos relevantes aos seres humanos e ao ambiente natural”.

Segundo os conceitos da UN Environment Programme (UNEP), a P+L é uma metodologia preventiva, contínua e estratégica que pode ser utilizada em qualquer processo industrial, produto ou serviços oferecidos para a sociedade, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Definição de Produção mais Limpa



Fonte: UNEP apud Pereira (2012)

A P+L prioriza minimização de resíduos na fonte como primeira alternativa de ação preventiva, com isso possibilitando a redução de custos de produção e a otimização no uso da matéria prima e insumos (MATTOSINHO; PINORIO, 2009). Assim, a utilização de tecnologias limpas leva a um aumento de produtividade resultante da economia de custos e racionalização dos resultados nos processos produtivos (GETZNER, 2002).

Assim como qualquer investimento, a decisão de investir em Produção Mais Limpa decorre da relação custo-benefício. Como a P+L abrange uma estratégia preventiva, nota-se a redução dos custos significativamente em longo prazo, na medida em que se tem maior eficiência nos processos, ganhos no consumo de matérias-primas e energia, bem como na diminuição de resíduos e emissões contaminantes (MELLO; NASCIMENTO, 2002).

Segundo o Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL(2003), a implementação do Programa de Produção mais Limpa traz para as empresas benefícios ambientais e econômicos que resultam na eficiência global do processo produtivo. As organizações precisam compreender que, por ser uma técnica de aplicação contínua, a P+L mobiliza toda a

organização, provocando mudanças culturais em todos os seus níveis hierárquicos (SILVA; MORAES; MACHADO, 2015).

A United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (apud OMETTO; GUELERE FILHO, 2008) esclarece que alguns dos objetivos da P+L são: a redução de materiais, de perdas, de desperdícios, de efluentes, de resíduos e emissões. Assim, são elencadas formas de alcançar a P+L através de oito técnicas, mostradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Técnicas de produção mais limpa

Técnicas	Ações para P+L
1) Manutenção adequada	Prevenção de vazamentos, perdas, derramamentos
	Calendário de manutenção preventiva
	Inspeção frequente dos equipamentos
	Treinamento dos colaboradores
2) Realizar substituições	Por material menos tóxico
	Por material renovável
	Por material com maior ciclo de vida
3) Melhoria no controle do processo	Mudanças nos procedimentos de trabalho
	Instruções de utilização das máquinas
	Monitoramento dos dados do processo para facilitar a melhoria da eficiência e reduzir as perdas e emissões
4) Mudanças nos equipamentos	Mudanças nos equipamentos de produção e nos auxiliares, como a adição de uma divisão de medidas e de controle, para melhorar a eficiência e diminuir as taxas de perdas e emissões
5) Mudanças nas tecnologias	Utilização de tecnologias menos poluentes
	Mudança no fluxograma do processo, a fim de diminuir a cadeia produtiva
6) Reciclagem/Reuso	Reutilizar as perdas geradas para serem utilizadas no próprio processo, para outras aplicações ou para outras empresas
7) Produzir o máximo que pode ser utilizado: Investigar novos usos para utilização e transformação das perdas geradas em materiais que podem ter aplicações	
8) Reformulação ou modificação do produto	Mudanças no produto para minimizar os impactos durante a produção, o uso, a reciclagem ou a disposição final

Fonte: adaptado de Ometto e Guelere Filho (2008)

Valle (1995, apud ARAÚJO, 2002) sustenta a necessidade de dar atenção aos pontos críticos dos sistemas que geram maior quantidade de resíduos e ao controle dos processos

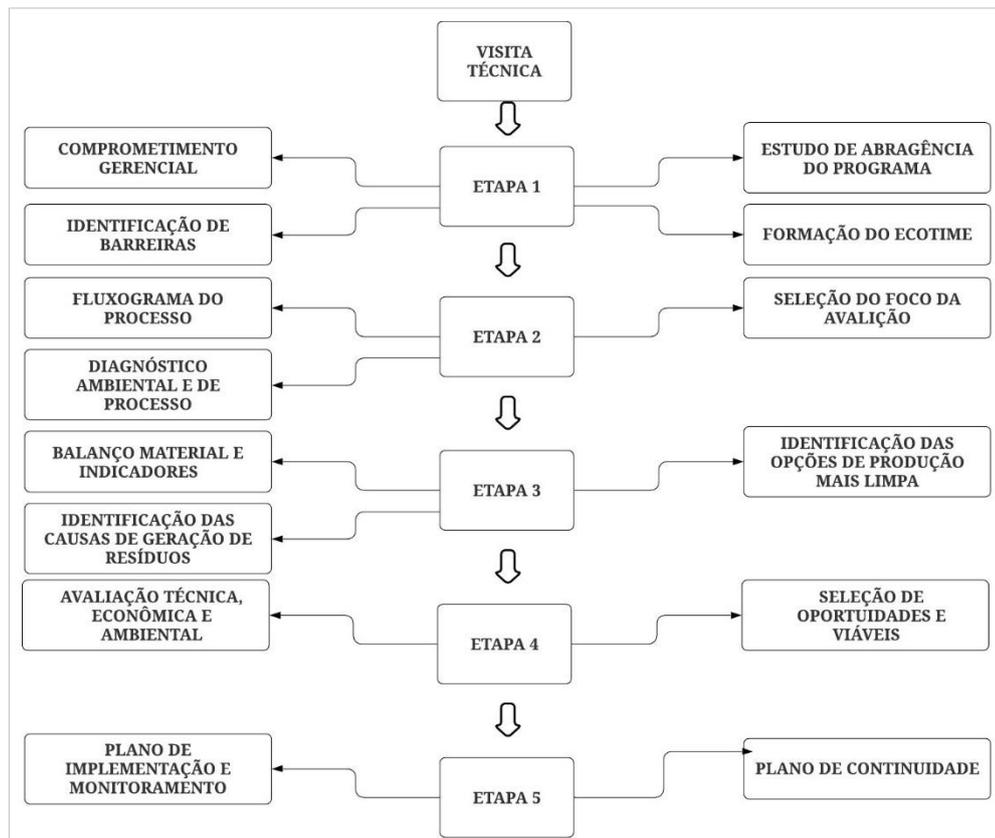
produtivos que apresentam desvios em sua eficiência, gerando mais resíduos do que originalmente estimado.

CEBDS (2005) descreve a implementação de uma política de P+L através da realização de balanços de massa e de energia, para avaliar processos e produtos. E assim, identificar oportunidades de aplicação de práticas de produção mais limpa que considerem aspectos técnicos, ambientais e econômicos, além de, definir e implementar indicadores para monitoramento.

### 2.3 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A aplicação da ferramenta de Produção mais Limpa é definida e descrita pelo CNTL (2003), através de cinco etapas. Na Figura 2 proposta, é possível identificar e acompanhar as etapas de execução da P+L.

Figura 2 – Etapas de aplicação da P+L



Fonte: adaptado de CNTL (2003)

Durante o processo da etapa 1, é fundamental a obtenção do comprometimento junto à gerência da organização para garantir com êxito os resultados. Para tal, recomenda-se a

identificação de barreiras à implantação e a busca de soluções adequadas para os problemas identificados. Outra ação necessária, é o estabelecimento da amplitude do programa de produção mais limpa na empresa, isto é, será implantada em apenas um determinado setor ou em todos os setores da empresa (CNTL, 2003).

A etapa 2 é realizada através de uma análise detalhada de um fluxograma do processo produtivo da empresa, que permitirá a visualização qualitativa de matéria prima, água, energia e resíduos durante o processo produtivo. Logo, atuando como uma ferramenta estratégica de minimização dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos (CNTL, 2003). Com a elaboração do fluxograma do processo produtivo realizada, são determinadas as estratégias para identificação e quantificação dos fluxos de massa e energia nas diversas etapas deste processo.

A partir do levantamento do fluxograma do processo produtivo da empresa, é realizado o levantamento dos dados quantitativos de produção e ambientais existentes, quantificação de entradas e saídas, dados da situação ambiental da empresa e dados relacionados à estocagem, armazenamento e acondicionamento (CNTL, 2003). Assim, todas as informações dos fluxogramas qualitativos e quantitativos são selecionadas para analisar qual atividade ambiental tem mais prioridade, isto é, qual atividade é a mais preocupante considerando os regulamentos legais, a quantidade e toxicidade dos resíduos e custos envolvidos (CNTL, 2003).

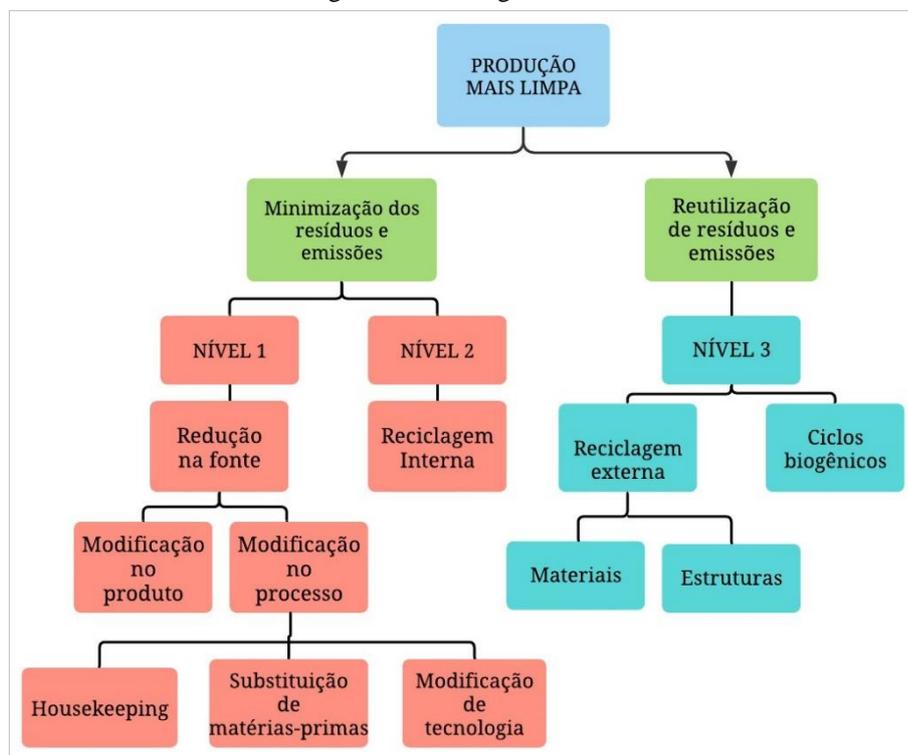
Durante a etapa 3, são levantados os dados quantitativos de entradas e saídas mais detalhados nas etapas das atividades com maior prioridade. Os itens avaliados ajudam a análise através de indicadores para comparação qualitativa entre dados existentes antes da implementação do Programa P+L e os dados após a aplicação do próprio projeto (CNTL, 2003).

A seguir, é realizada a identificação das causas da geração de resíduos produzidos na empresa. Muitas vezes, resíduos são produzidos por falta de manutenção preventiva, consumo de água e energia não conferidos, uso de matérias primas abaixo do padrão da qualidade, armazenagem, sem padronização das matérias primas, uso de tecnologias de processos ultrapassados (CNTL, 2003).

Para a identificação das opções da P+L, presente como um dos objetivos da etapa 3, é realizada uma abordagem estratégica de execução, e essa abordagem é estabelecida em uma sequência de três níveis organizacionais. Conforme o CNTL (2003), as ações da P+L estão separadas nos grupos de minimização de resíduos e emissões, e reutilização de resíduos e emissões. O fluxo prioritário da P+L, descrito na Figura 3, inicia por implementação das

medidas (do nível 1) dentro da organização, como eliminação de resíduos a partir da fonte geradora, substituição de matéria prima e modificações no produto ou processo. Para os resíduos que não puderem ser evitados na fonte geradora, é recomendada a reintegração ao processo produtivo por meio de reciclagem interna (nível 2). Quando não for possível a implementação das práticas dos níveis 1 e 2, deve-se aplicar medidas de reciclagem externa e destinação final adequada como demonstra o nível 3. Dessa forma, a Figura 3 ordena as alternativas de prevenção da poluição por meio dos níveis de eficiência da P+L.

Figura 3 – Estratégias da P+L



Fonte: adaptado de CNTL (2003) apud Coelho (2004, p. 47)

A realização da etapa 4 prevê a avaliação técnica, econômica e ambiental das oportunidades de P+L, visando a utilização de forma eficiente das matérias primas, água, energia e outros elementos no processo através da não geração, minimização, reciclagem externa e interna. A escolha de atividades possibilita o levantamento das medidas viáveis de acordo com os critérios estabelecidos e atendendo as legislações pertinentes ao processo (CNTL, 2003).

A etapa 5 constitui o plano de implementação e monitoramento e plano de continuidade. O plano de monitoramento pode ser dividido em quatro estágios: planejamento, implementação, análise e relatório de dados (CNTL, 2003). Ao final da aplicação das etapas

descritas acima, o Programa Produção Mais Limpa pode ser considerado como implementado. Todavia, é importante estabelecer condições para que o Programa tenha continuidade através da metodologia de trabalho e também sua evolução nas atividades futuras da empresa (CNTL, 2003).

## 2.4 NBR ISO 14001

A NBR ISO 14001 (ABNT, 2015) explica que o SGA compreende a:

[...] Parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental. (ABNT, 2015)

O objetivo da ISO 14001, vinculada a um SGA, é entregar às organizações uma estrutura para a proteção do ambiente e a possibilidade de resposta às mudanças das condições ambientais em equilíbrio com as demandas socioeconômicas. Desta forma as organizações podem, a partir de uma abordagem sistemática de Gestão Ambiental, obter as informações necessárias para o desenvolvimento sustentável através de:

- proteção do ambiente pela prevenção ou mitigação dos impactos ambientais adversos;
- mitigação de potenciais eventos adversos das condições ambientais na organização;
- auxílio à organização no atendimento aos requisitos legais e outros requisitos;
- aumento do desempenho ambiental;
- controle ou influência no modo em que os produtos e serviços da organização são projetados, fabricados, distribuídos, consumidos e descartados, utilizando uma perspectiva de ciclo de vida que possa prevenir o deslocamento involuntário dos impactos ambientais dentro do ciclo de vida;
- alcance dos benefícios financeiros e operacionais que podem resultar da implementação de alternativas ambientais que reforçam a posição da organização no mercado;
- comunicação de informações ambientais para as partes interessadas pertinentes. (ABNT, 2015)

Os SGA podem ser complementados por ferramentas oferecidas pela P+L, com objetivo de incorporar ferramentas de gestão sob a ótica da prevenção. Ometto e Guelere Filho (2008) salientam que:

A interação entre P+L e o SGA pode ocorrer baseando-se no requisito “Planejamento” da norma, mais especificamente no item “Programa(s) de Gestão Ambiental”, uma vez que é através desses programas que as

empresas certificadas atingem os objetivos estipulados pelas metas ambientais determinadas em sua política. Trata-se de uma “brecha” para que abordagens pró-ativas como a P+L possam ser incorporadas ao SGA de uma empresa, tornando-o uma efetiva ferramenta de gestão ambiental. (OMETTO; GUELERE FILHO, 2008, p. 10)

O Quadro 2 destaca os requisitos do sistema ambiental baseado na ISO 14001, que possibilitam pontos de inserção de conceitos do modelo de P+L.

Quadro 2 – Proposta de inserção de conceitos do P+L nos requisitos da NBR ISO 14001

<b>REQUISITO DA NORMA ISO 14001</b>	<b>ÊNFASE/ABORDAGEM PRINCIPAL</b>
4.2-Política ambiental	Compromisso com a P+L na forma de Prevenção da Poluição.
4.3.1-Aspectos ambientais	Levantamento de aspectos e avaliação de impactos usando a oportunidade de P+L como um filtro de significância.
4.3.1-Objetivos e Metas 4.3.2-Programas de gerenciamento ambiental	Objetivos e metas viabilizados com projetos com enfoque em P+L.
4.4.1-Estrutura e responsabilidade	Recursos para implantação de tais projetos
4.4.2-Treinamento, conscientização e competência.	Conscientização, capacitação em metodologias, conceito e tecnologia para implementação do projetos de P+L.
4.4.6-Controle operacional	Atividades envolvidas identificadas como oportunidades de P+L, devem ser planejadas e programadas para dar sustentação às atividades dos projetos implantados.
4.5.1-Monitoramento e medição	Criação de indicadores e monitoramento dos resultados e parâmetros relativos aos projetos e como consequência dos objetivos e metas a serem atingidos.
4.5.4-Auditorias internas do SGA	Verificação independente sobre o andamento das providências de P+L.
4.6-Análise crítica pela administração	Balanço semestral/anual com a Inclusão dos resultados e proposição de melhorias, tendo os projetos de P+L como importante <i>input</i> .

Fonte: Prestrelo e Azevedo apud Cervelini (2006, p. 74)

### **3 PRINCIPAIS INSUMOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE CERVEJA**

Os principais insumos utilizados no processo de produção de cerveja são água, malte, lúpulo e levedura. A seguir será apresentada uma breve descrição de cada um destes insumos.

#### **3.1 ÁGUA**

O principal componente da cerveja é a água, representando pelo menos 92% de sua composição. A elevada quantidade de água, associada à presença de sais minerais, é responsável pelo poder refrescante desse produto (HUGHES; BAXTER, 2001).

A água utilizada no processo deve ser potável, transparente, incolor, inodora, neutra, sem sabor e seguir necessidades específicas para o bom andamento de produção e obtenção do produto acabado desejado (MADRID; CENZANO; VICENTE, 1996). Na indústria cervejeira, a água deve passar sob uma série de análises, tais como pH, dureza, turbidez, dentre outras, não importando a fonte que se obteve esse recurso hídrico. É muito importante que se tenha um controle sobre o pH da água utilizada para a fabricação da bebida, sendo que o seu valor ideal para a fabricação varia dependendo do tipo de cerveja, dentro da faixa de 6,5 a 7,0 (BRIGIDO; NETTO, 2006).

A água pode também influenciar indiretamente as características da cerveja. O pH da água influencia no funcionamento das enzimas, e no grau de extração de vários compostos presentes no malte e no lúpulo, utilizados na primeira etapa do processo produtivo, a produção do mosto. Segundo Jorge (2004), o pH ótimo da água deve estar entre 6,5-7,0. Se a água for alcalina, poderá dissolver grandes quantidades de matérias indesejáveis das cascas e do malte.

#### **3.2 MALTE**

O processo de obtenção do malte geralmente ocorre em instalações dedicadas a este propósito, conhecidas como maltarias, que podem ou não ser anexas às empresas cervejeiras. As principais etapas de obtenção do malte são a limpeza e seleção de grãos, a embebição, germinação e a secagem do malte. (SANTOS, 2005).

#### **3.3 LÚPULO**

O lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é uma trepadeira perene, cujas flores fêmeas apresentam grande quantidade de resinas amargas e óleos essenciais, os quais conferem à cerveja o sabor amargo e o aroma que caracteriza a bebida (JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009). O lúpulo, no processo de produção de cerveja, é responsável pelo aroma e sabor amargo, contribui para a estabilidade da espuma da cerveja e atua como um agente bacteriostático (ALMEIDA; SILVA, 2010).

Para a produção de cerveja utilizam-se as flores femininas de lúpulo, pois são estas que contêm a lupulina, substância que confere amargor. Pode-se dizer que o lúpulo é um dos principais elementos que os mestres cervejeiros dispõem para diferenciar suas cervejas dos demais. A quantidade e o tipo (variedade) de lúpulo utilizado é um segredo guardado a sete chaves pelos cervejeiros (OLIVEIRA, 2011).

O lúpulo é utilizado na forma de flores secas (*in natura*), *pellets* ou em extratos, podendo tradicionalmente ser classificado como lúpulos aromáticos e de amargor conforme suas características predominantes (SEIDL, 2003). O lúpulo possui óleos essenciais que apresentam mais de 200 compostos, os quais propiciam sabores variados à cerveja (SHARP; LAWS, 1981).

Os óleos essenciais presentes no lúpulo são muito voláteis, sendo que aproximadamente 96% dos mesmos são perdidos durante o processo de fabricação da cerveja (ALMEIDA; SILVA, 2010). A sua composição contém açúcares e aminoácidos como componentes solúveis e presentes apenas em pequena proporção. Já os lipídeos, proteínas e celulose são insolúveis, e que pouco contribuem com o processo cervejeiro (TSCHOPE, 2001).

### 3.4 LEVEDURA

As leveduras normalmente utilizadas para a produção de cerveja são conhecidas como *Saccharomyces cerevisiae* e podem ser classificadas em leveduras de alta e baixa fermentação, dependendo do tipo de cerveja que se quer produzir (SENAI, 2014). Junior, Vieira e Ferreira (2009) definem fermento como o nome genérico de microrganismos, também conhecidos por leveduras, e que são utilizados na indústria cervejeira graças à sua capacidade de transformar açúcar em álcool.

As leveduras possuem a habilidade de metabolizar eficientemente os constituintes do mosto, que é um caldo resultante da mistura fervida de malte e água, rico em açúcares fermentáveis. Esse caldo é filtrado, para receber o lúpulo e o fermento ser transformado em

álcool e gás carbônico a fim de produzir uma cerveja com qualidade e estabilidade sensorial satisfatória (CARVALHO; BENTO; SILVA, 2006).

## 4 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CERVEJA

O artigo 36 do Decreto nº 6.871/2009, que regulamenta a Lei nº 8.918/1994, descreve a cerveja como uma bebida alcoólica resultante da fermentação do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo. Embora existam variações de aromas e sabores entre as cervejas fabricadas pelas grandes indústrias e aquelas produzidas por microcervejarias, ou mesmo por cervejarias artesanais, elas são produzidas seguindo basicamente o mesmo processo de fabricação (CERVIERI JÚNIOR et al., 2014).

Segundo Palmer (2006), o processo de fabricação de cerveja é constituído basicamente das seguintes etapas: moagem do grão, mosturação, filtragem e clarificação, fervura com adição de lúpulo, resfriamento, fermentação, maturação e envase.

### 4.1 MOAGEM

O processo de moagem compreende a passagem do malte pelo moinho de martelo ou de rolo, de modo a romper a casca dos grãos e expor seu conteúdo como ilustrado na figura 13 do anexo A – Ilustrações. É, portanto, um processo físico que proporciona acesso ao amido do grão maltado. Durante o processo, os aspiradores captam o pó gerado pelo atrito entre as sementes, enviando o fluxo para um filtro de mangas. (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

A moagem é o primeiro passo para iniciar o processo de mosturação e também tem influência significativa no rendimento da produção, pois, a granulometria da moagem interfere na solubilização do conteúdo do grão do malte. A granulometria da moagem do malte não deve ser muito fina a ponto de tornar lenta a filtragem do mosto ou, ao contrário, muito grossa, o que dificulta a hidrólise do amido (GARCIA, 2012).

### 4.2 MOSTURAÇÃO

O processo da mosturação inicia-se com a maceração, como ilustrado na figura 14 do anexo A – Ilustrações, em que os grãos são umedecidos em água a uma temperatura em torno de 65°C para que haja ativação de enzimas que promovam a quebra de substâncias complexas

e insolúveis em outras mais simples, solúveis em água. Assim, as proteínas são posteriormente convertidas em aminoácidos e os amidos em moléculas de glicose, assimiláveis pelas leveduras, que realizarão a fermentação. Nesta fase, é dada origem ao mosto (OLAJIRE, 2012).

O mosto possui as características nutricionais necessárias para que as leveduras atuem de forma adequada, produzindo álcool e outros componentes responsáveis pelo sabor característico da cerveja (TOSTES, 2015).

Após o preparo do mosto, ele é filtrado para remoção dos resíduos dos grãos de malte e adjuntos. Estes resíduos são denominados bagaço de malte. O mosto, então, é fervido até a ebulição (100°C) e estabilizado, concentrado e esterilizado, inativando as enzimas, coagulando e precipitando as proteínas. É nesta fase que se adicionam os aditivos como o lúpulo, que agregam características organolépticas da cerveja. Subsequentemente, o mosto passa por um processo de clarificação, que consiste na decantação de partículas indesejáveis oriundas da coagulação e precipitação de proteínas e resíduos remanescentes de bagaço. Essas partículas indesejáveis formam o resíduo sólido denominado trub (SANTOS, 2005).

No final dessa etapa é realizado o *sparging*, que é um enxágue do bagaço com água quente, a fim de recolher a maior quantidade dos açúcares retidos (KUNZE, 2006). Após ser clarificado, o mosto é resfriado até uma temperatura entre 6°C e 12°C e aerado com ar estéril (SANTOS, 2005).

### 4.3 FILTRAÇÃO

Após a hidrólise do amido é realizada a retirada do bagaço de malte, material resultante da aglutinação da casca com os resíduos do processo. Esta etapa pode ser realizada por sedimentação natural, como ilustrado na figura 16 do anexo A – Ilustrações, e efetuada por um equipamento provido de fundo falso tipo peneira, onde o mosto passa através da camada de cascas do malte depositadas (etapa de filtração, também denominada clarificação). Em seguida, é realizada a lavagem destas cascas por passagem de água aquecida (denominada água de lavagem) (RUSSEL; STEWART, 1995).

Ao final da filtração, de acordo com Fillaudeau, Blanpain-Avet e Daufin (2006), para cada 100kg de grãos processados, são gerados 125 a 130kg de bagaço úmido, com cerca de 80 a 85% de umidade.

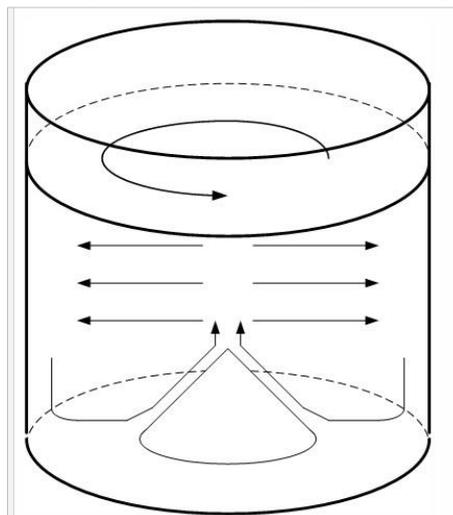
### 4.4 FERVURA

Ao término da filtração, após a separação entre o mosto e o bagaço de malte, o mosto é enviado para a fervura. Na fervura há a inativação de enzimas e esterilização do mosto, também há a formação de compostos responsáveis pela cor e sabor do produto, e extração de compostos de amargor e aromáticos do lúpulo. Nesta etapa ocorre a remoção, por evaporação, de compostos voláteis indesejáveis, como o dimetil sulfito, e a remoção do trub quente (SIQUEIRA et al, 2008).

Durante o processo de fervura do mosto, ocorrem diversas reações químicas, como a coagulação do tanino do lúpulo por reação com a proteína. Muitas vezes o lúpulo é acrescentado quando a fervura está na sua fase intermediária, ou até mesmo na fase final (JUNIOR; VIEIRA; FERREIRA, 2009). O encerramento do processo de fervura do mosto está ilustrado na figura 18 do anexo A – Ilustrações.

Ao final do processo da fervura é realizado o redemoinho (*Whirlpool*), ação representada na Figura 4, que permite obter um mosto límpido, pois são separadas as proteínas e polifenóis oxidados e insolúveis no mosto quente. O material separado se chama trub quente ou *hot break*. O mosto é ingressado tangencialmente com elevadas velocidades para permitir que a separação ocorra por efeitos das forças centrípetas e centrífugas (PRIEST; STEWART, 2006; KUNZE, 2007).

Figura 4 – Representação da força centrífuga realizada pelo redemoinho



Fonte: Home Brewing Wiki (2021)

#### 4.5 RESFRIAMENTO

Ao término da fervura, o mosto é resfriado para uma temperatura adequada à inoculação da levedura. A temperatura final de resfriamento do mosto está diretamente relacionada com o tipo de levedura que será utilizada (RIBEIRO et al., 2018). O resfriamento, quando realizado de forma rápida, permite a obtenção de mosto com aroma intenso, bem como minimiza a possibilidade de sua contaminação por microrganismos externos (HUANG, 2013).

O processo de resfriamento do mosto é um dos pontos em que é possível a ocorrência de contaminações por bactérias e penetração de leveduras selvagens.

#### 4.6 FERMENTAÇÃO

A fermentação é o processo de transformação de açúcares fermentáveis do mosto em álcool, calor, gás carbônico, alguns ésteres, ácidos e álcoois superiores (SILVA, 2015). O tipo de levedura depende do tipo de cerveja, podendo ser nova ou pode ser produto de outras fermentações.

É importante realizar a manipulação da levedura com muito cuidado para evitar contaminações microbiológicas durante sua hidratação ou preparação. A mesma deve ser adicionada ao mosto em linha ou no fermentador o mais rápido possível, para favorecer seu crescimento e reduzir perigos de desenvolvimento de outros microrganismos no mosto (KUNZE, 2006).

O processo de fermentação pode ser dividido entre fase de adaptação e fase de atenuação. A fase de adaptação dura até 36 horas e é responsável pela adaptação da levedura às condições presentes no mosto. As leveduras analisam o estoque de nutrientes disponíveis para que possam produzir as enzimas necessárias para a adaptação. Durante esta fase, o oxigênio contido no mosto é consumido para que a reprodução das seja mais eficiente. Já a fase de atenuação dura em média de dois a 10 dias, e é neste momento em que a fermentação em si é iniciada. A levedura passa a metabolizar de forma anaeróbia e, assim, começa a transformar os açúcares fermentáveis em álcool e liberar dióxido de carbono. A taxa de atenuação do mosto é máxima nesta fase (a densidade tende a cair em 2/3 a 3/4 do valor inicial) (PALMER, 2006).

No final do processo de fermentação, Mosher (2004) menciona sobre a floculação da levedura, e dependendo da variedade, irá flutuar ou sedimentar. A levedura é então recolhida e pode ser reutilizada em fermentações posteriores desde que se mantenha a qualidade microbiológica (MOSHER, 2004).

Além do etanol e do dióxido de carbono, são formados alguns subprodutos do metabolismo das leveduras, como ácidos, álcoois alifáticos superiores, ésteres, diacetil, acetoína, ligações de enxofre, entre outros. Todos os compostos envolvidos na assimilação, a formação de produtos e subprodutos, influenciam no sabor e no aroma da cerveja, sendo alguns desejáveis, e outros indesejáveis. No entanto, estes subprodutos da fermentação só vão estar totalmente formados quando a maturação acabar, pois na maturação ocorre uma segunda fermentação (ALMEIDA; SILVA; VENTURINI FILHO, 2010).

#### 4.7 MATURAÇÃO

A maturação é o processo em que após a fermentação e a estabilização da densidade final do mosto. Este processo trata-se da diminuição gradual da temperatura do tanque fermentador, a fim de ocorrerem reabsorções de aromas por parte da cerveja, além de deixá-la com aspecto mais límpido e diminuir o teor de diacetil, ácido sulfídrico e acetaldeído. (ALMEIDA; SILVA; VENTURINI FILHO, 2010).

No processo de maturação da cerveja, é realizada a análise das características sensoriais da bebida. No final da fermentação, existem na cerveja muitos sabores e aromas que devem ser eliminados ou corrigidos. O processo de maturação regulariza os níveis dos compostos que devem ser corrigidos ou eliminados, assim, produzindo um aroma e um sabor único. Ocorre uma atenuação no amargor do lúpulo e é estabelecido o sabor final da cerveja (ALMEIDA; SILVA; VENTURINI FILHO, 2010).

Em Palmer (2006), é descrito o processo de *dryhopping* como o processo de adição de lúpulo no momento da maturação com objetivo de deixar a cerveja ainda mais aromática.

#### 4.8 ENVASE

Durante esta fase do processo podem ser realizados ajustes de dióxido de carbono com o objetivo de aumentar a concentração de gás carbônico na cerveja produzida. Na última fase de produção é feito o acondicionamento que pode ser feito em latas, garrafas ou barris (GALVÃO, 1997). O envase é feito em contrapressão com dióxido de carbono, o que evita a formação de espuma e expulsa o oxigênio contido na embalagem, que pode deteriorar a cerveja em termos físico-químicos (oxidação) ou microbiológicos (FERNANDES, 2012).

No processo de envase é necessário grande cuidado com possíveis fontes de contaminação, perda de gás e contato da cerveja com oxigênio. A ocorrência de contaminação no envase pode comprometer a qualidade do produto. (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

A oxidação química é o principal responsável para o envelhecimento da bebida dentro dos recipientes utilizados. Os níveis de oxigênio dissolvidos na cerveja envasada são determinantes para a sua estabilidade organoléptica e física. O oxigênio desencadeia a formação de compostos altamente reativos que levam não só ao aparecimento de aldeídos como à formação de complexos entre proteínas e polifenóis que precipitam e turvam a cerveja (GALVÃO, 1997).

#### 4.9 LIMPEZA

O sucesso da fermentação, a etapa responsável pelo álcool e o equilíbrio entre os diferentes sabores da cerveja, depende de um ambiente favorável para que as leveduras possam metabolizar. Porém, este mesmo ambiente se mostra favorável a outros micro-organismos que geram características indesejáveis, logo, é necessário garantir que a presença destes micro-organismos sejam excluídas ou minimizadas e, assim, não oferecer riscos ou competição ao crescimento das leveduras. Idealmente, esta etapa seria realizada pela esterilização, mas, dada as dificuldades de implementação deste processo, isso é alcançado por meio da limpeza e sanitização (PALMER, 2006)

No processo de produção de bebidas existem diversos processos que precisam ser executados de forma apropriada para que se mantenha o produto nas melhores condições possíveis. A etapa de limpeza e sanitização, ou *CleaninginPlace* (CIP), é um processo muito importante e é relacionado a aspectos essenciais para qualquer indústria (CARRERA, 2015).

Em diversas cervejarias, as operações de limpeza são conduzidas utilizando o sistema CIP. Este modelo de limpeza se caracteriza por ser um sistema automático de limpeza de equipamentos de processo, tubulações, tanques, entre outras unidades. O CIP é realizado em operações sequenciais de enxágue e lavagem, usando água sob condições definidas de pressão, temperatura e vazão, além de produtos químicos diversos, tendo todo o controle centralizado num painel de operações (SANTOS; RIBEIRO, 2005). Em alguns casos, os efluentes de uma lavagem podem ser reutilizados em lavagens seguintes, em até cinco ou seis vezes, e em operações de limpeza mais intensa, realizadas com maior intervalo de tempo, acrescenta-se uma etapa de desinfecção, em geral usando hipoclorito de sódio (REINOLD, 2007).

#### 4.10 RESÍDUOS E EFLUENTES GERADOS NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CERVEJA

Segundo Seluy e Isla (2014), a geração de efluentes na indústria de cervejas ocorre em duas correntes:

- Efluentes resultantes de operações de limpeza (de instalações, equipamentos, pisos e vasilhames) e das águas de sistemas de resfriamento;
- Efluentes gerados no processo de produção da cerveja propriamente dito, chamados trub, os quais são compostos principalmente por excesso de levedura e

outros aditivos, resíduos sólidos de bagaço, e cerveja oriunda de perdas na linha de produção.

O trub é resultado da aglutinação de proteínas durante o processo de fervura. O mesmo deve ser separado adequadamente do mosto para garantir uma estabilidade na aparência da cerveja e um sabor mais agradável (MORADO, 2011).

Mesmo com os avanços dos processos de gestão de resíduos, certos resíduos intrínsecos ao processo produtivo dificilmente têm redução de sua quantidade gerada. Estes resíduos são responsáveis pela perda de aproximadamente 20% de água cervejeira utilizada no processo, principalmente pelo elevado teor de umidade na composição do resíduo, entre 80 e 90%, esse teor elevado de umidade no resíduo promove arraste de mosto e perda de extrato, resultando na geração de significativas quantidades de efluentes (PRIEST; STEWART, 2006).

Atualmente, a microcervejaria, objeto de estudo do presente trabalho, não realiza tratamento de efluentes e nem destinação dos seus efluentes líquidos do processo produtivo, conforme a CNTL (2003), dentro dos diversos motivadores para adoção da metodologia P+L, se encontra a necessidade de enquadramento aos requisitos legais de legislações e normas. Ainda, conforme CNTL (2003), o enfoque das metas de produção mais limpa pode ser realizado antes do início de avaliação de P+L, ou depois, e o embasamento destas metas podem ser direcionados por padrões internos de produtividade, legislação ambiental, *benchmarking* e tecnologia (pontos de referência que servem como padrão da tecnologia), ou dados históricos de produção.

## 5 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado em uma microcervejaria, com capacidade de produção instalada de 3,4 mil litros de cerveja por mês, na cidade de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul. A microcervejaria realiza produções de aproximadamente 350 litros por batelada e possui sete fermentadores instalados, sendo dois de 350 litros, um de 500 litros, três de 600 litros e um de 1.000 litros, possuindo uma média de produção mensal de 2,4 mil litros.

O estudo adota o propósito de reduzir a emissão de resíduos e o consumo de água e energia na produção de cerveja em uma microcervejaria. Logo, optou-se pela análise das etapas do processo de fabricação de cerveja na microcervejaria a partir do uso de técnicas de P+L e uma abordagem de gestão ambiental sob determinadas etapas da metodologia de Produção mais Limpa e considerando requisitos da NBR ISO 14001 (ABNT, 2015).

A proposta de práticas de produção mais limpa foi feita a partir da associação da análise dos processos relacionados ao estudo de caso com obtenção de dados in loco. O estudo de caso foi realizado por meio de observações sistemáticas do fluxograma dos processos de produção e demais processos que englobam a fabricação de cerveja em uma microcervejaria. A coleta de dados foi desenvolvida através de observações e de medições dentro da fábrica para posterior aplicação das ferramentas de gestão ambiental.

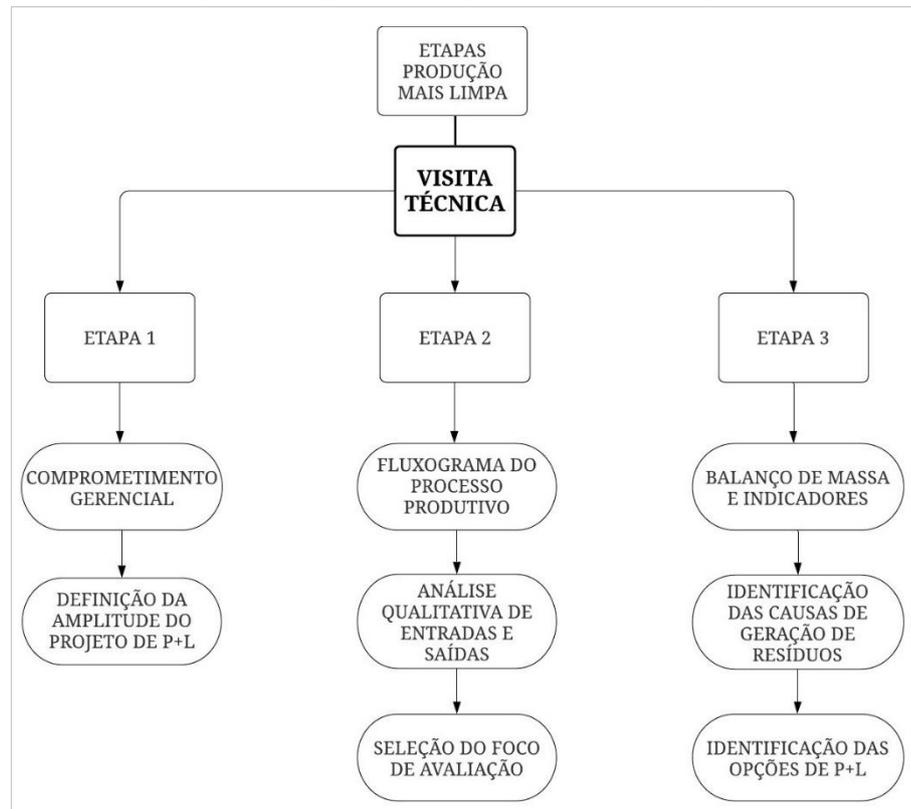
Os processos de produção acompanhados e estudados foram:

- Dois processos de produção para preencher um tanque fermentador de 600 litros;
- Processo de CIP da tina de mosturação, da tina de fervura e de um do tanque de fermentação;
- Limpeza de barris realizada para envase da cerveja produzida nas duas bateladas;
- Limpeza do piso e parte externa dos equipamentos.

### 5.1 PRÁTICA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

O estudo de práticas de P+L foi conduzido por etapas previstas na implementação da metodologia de produção mais limpa a partir das etapas apresentadas na **Error! Reference source not found.**, a realização destas etapas para a realidade da microcervejaria foi inspirada a partir do manual de implementação mais limpa do CNTL (2003) e sob consideração de determinados requisitos da NBR ISO 14001 (ABNT, 2015).

Figura 5 - Etapas de P+L aplicadas na microcervejaria



Fonte: elaborado pelo autor

## 5.2 ETAPA 1

A proposta da aplicação do estudo dentro da microcervejaria foi realizada a partir de uma reunião inicial, que teve como objetivo explicar o funcionamento da implementação da P+L e dos possíveis benefícios ambientais e econômicos para a organização.

A partir da concordância com o propósito do projeto foram realizadas visitas técnicas para alinhamento de compromisso com a gestão da microcervejaria. Em conjunto com a gestão foi definida a abrangência do programa P+L, e realizada a avaliação de métodos de produção para melhor compreensão do processo de produção da microcervejaria. Essas ações são previstas como requisitos no manual de aplicação de produção mais limpa CNTL (2003) e na seção 5.2 da NBR ISO 14001 (ABNT, 2015).

## 5.3 ETAPA 2

A etapa dois compreendeu a construção do fluxograma do processo produtivo, a fim de realizar a sua análise detalhada, permitindo a visualização e a definição do fluxo

qualitativo de matéria-prima, água, energia no processo produtivo e emissões de resíduos. A partir da realização do fluxograma do processo e da avaliação das entradas e saídas de insumos e resíduos, de forma qualitativa, foi definida a seleção do foco de avaliação de produção mais limpa, considerando processos que geram grande quantidade de resíduos e emissões; situações de perda econômica, e de visíveis oportunidades de produção mais limpa.

A elaboração dos fluxogramas será realizada para avaliar e identificar os aspectos ambientais do processo. Com o acompanhamento do processo foi desenvolvido, no *software* de desenho virtual LucidChart, os fluxogramas do processo de produção e o fluxograma do processo de CIP, como também, os mesmos com a representação dos pontos de possível implementação de práticas para produção mais limpa.

Para a realização do fluxograma são previstas visitas técnicas junto ao cervejeiro responsável para melhor compreender as questões específicas de cada etapa do processo de produção.

As realizações destas etapas também estão previstas como requisito no manual de aplicação de produção mais limpa CNTL (2003) e na seção 5.2 da NBR ISO 14001 (ABNT, 2015).

#### 5.4 ETAPA 3

Na etapa 3 do presente estudo, foi realizado o balanço de massa do processo através do controle de entradas e saídas de cada etapa da produção, permitindo assim, a identificação das fontes da geração dos resíduos e a quantificação das correntes de insumos, resíduos, emissões e produtos do processo. Foi realizada a coleta e pesagem dos resíduos de bagaço de malte, excesso de leveduras do processo, trub quente e purgas finais para realização da composição gravimétrica dos resíduos gerados no processo.

Nesta etapa, também foi proposto o estabelecimento de indicadores que possibilitem futuro monitoramento das características principais dos processos que possam ter impacto ambiental significativo.

A partir da quantificação destes valores, foi realizada a identificação das oportunidades de aplicação da produção mais limpa. Esta ação é prevista como requisito no manual de aplicação de produção mais limpa do CNTL (2003) e na seção 5.2 da NBR ISO 14001 (ABNT, 2015).

##### 5.4.1 Balanço de massa

A Lei de Lavoisier, que diz que na natureza nada se cria, nada se perde e tudo se transforma, rege o princípio do balanço de massa (BANDINO JÚNIOR; CRUZ, 2013). A partir desta lei, será determinado os fluxos de entrada e de saída de cada etapa do processo, além dos fluxos de geração, consumo e acúmulo, descritos na Equação 1.

$$dm/dt = (\Sigma m_{ie} - \Sigma m_{is}) + \Sigma m_{ig} - \Sigma m_{ico} \quad (1)$$

Sendo,

$\Sigma m_{ie}$  o somatório das vazões mássica de entrada;

$\Sigma m_{is}$  o somatório das vazões mássica de saída;

$\Sigma m_{ig}$  o somatório das vazões mássica de geração;

$\Sigma m_{ico}$  o somatório das vazões mássica de consumo;

$dm/dt$  a vazão mássica do acúmulo.

O balanço de massa foi realizado para os processos de mosturação, filtração, fervura, fermentação, maturação, e também nos processos de limpeza das tinas de mostura, fervura e fermentação. Para tanto, foi necessária a medição e quantificação da entrada e saída de insumos dos processos que envolvem a fabricação de cerveja. As grandezas analisadas foram: água, malte, lúpulo, fermento, hidróxido de sódio e ácido peracético, pois são as grandezas de maior relevância para o processo.

#### 5.4.2 Resíduos Gerados

A partir dos dados quantitativos do balanço de massa, objetiva-se gerar um indicador de resíduos (IR) gerados, demonstrado pela Equação 2.

$$IR = \frac{\text{Quantidade de Resíduos Gerados (Kg)}}{\text{Volume de cerveja produzida (L)}} \quad (2)$$

Este indicador tem por objetivo acompanhar a quantidade de resíduos gerados por litro de cerveja produzida.

#### 5.4.3 Consumo de água

O consumo de água na planta da microcervejaria será mapeado e medido em cada processo e, a partir destes dados, foi proposta a utilização do indicador de consumo de água (ICA), relacionando o volume de água utilizado por volume de cerveja produzida, como demonstrado pela Equação 3, incluindo os volumes de água utilizados em:

- Processo de produção;
- CIP da parte interna das tinas de mostura, fervura e tanques de fermentação;
- Limpeza de barris;
- Limpeza do piso da fábrica;
- Parte externa das tinas de mosturação, fervura e tanques de fermentação.

$$ICA = \frac{\text{Água consumida (L)}}{\text{Cerveja Produzida (L)}} \quad (3)$$

#### 5.4.4 Consumo energético

O consumo energético na microcervejaria está diretamente ligado ao processo de produção, pois toda a configuração da fábrica opera a partir de energia elétrica.

A partir do fluxograma e do acompanhamento *in loco* do processo, foi observado os pontos em que se utilizam equipamentos que consomem energia elétrica. Para realizar a análise do consumo energético, sem um equipamento especializado, como um analisador de potência, é possível quantificar diretamente o consumo através da especificação de potência de cada aparelho pelo tempo acionado no processo.

Porém, constatou-se inviável a medição desta maneira, pois há equipamentos como o compressor do reservatório de glicol, que controla o líquido refrigerante a diferentes temperaturas de atuação para as etapas de fermentação, maturação, e também no processo de refrigeração. Nesses, a quantificação direta se torna inviável pois o acionamento do compressor ocorre em função da temperatura de cada tanque fermentador. Logo, realizar o balanço energético dos equipamentos da microcervejaria a partir do tempo de uso de cada equipamento se torna impraticável sem auxílio de instrumentos para tal fim.

Assim, optou-se por gerar um indicador de consumo de energia global, que considera o total consumido mensalmente pela cervejaria, pelo total de volume de cerveja produzido mensalmente. O indicador de consumo de energia (ICE), descrito na Equação 4, utilizará a medida de consumo fornecida pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) e o volume produzido mensalmente.

$$ICE = \frac{\text{Consumo mensal de energia (KWh)}}{\text{Cerveja Produzida (L)}} \quad (4)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação deste item seguirá a ordem de atividades propostas na **Error! Reference source not found.**, definidas em Etapa 1, Etapa 2 e Etapa 3.

### 5.5 ETAPA 1

O alinhamento da gestão da microcervejaria com a proposta da realização do estudo foi definida como a primeira etapa a ser aplicada da metodologia P+L. Foi realizada a apresentação da proposta de implementação de técnicas de produção mais limpa para redução de impactos ambientais do processo de produção da microcervejaria junto aos dois sócios responsáveis pela cervejaria. O comprometimento da gestão ocorreu de forma natural e positiva, após a apresentação da proposta para os dois gestores e para o cervejeiro responsável iniciou-se uma positiva interação com grande fluxo de informações que enriqueceram a construção do trabalho.

Houve interesse em conhecer mais a ferramenta de P+L aliada à implementação de gestão ambiental, e explorar alternativas que auxiliassem com benefícios ambientais e econômicos para a empresa através da redução dos impactos ambientais e do aumento da eficiência do processo.

O comprometimento da gestão da microcervejaria com o estudo foi fundamental para o desenvolvimento das atividades propostas. Nesta etapa, ficou evidente a necessidade do comprometimento dos gestores e colaboradores para as análises feitas nas demais etapas.

Durante o processo de alinhamento, foi realizada a definição do escopo e abrangência do estudo, o qual foi delimitado ao setor de produção de cerveja e aos processos de produção envolvidos. A microcervejaria concedeu acesso a documentos internos de produção e, também, houve acompanhamento dos gestores e do cervejeiro nas visitas técnicas realizadas, auxiliando na compreensão do funcionamento da microcervejaria.

### 5.6 ETAPA 2

As elaborações dos fluxogramas ocorreram através do acompanhamento do processo de produção de cerveja e demais processos envolvidos. A análise qualitativa das entradas e saídas da produção foi, também, desenvolvida com o acompanhamento do processo de produção, e com auxílio dos fluxogramas. Posteriormente, foi realizada a seleção do foco de avaliação, definindo quais aspectos da produção serão determinados para estudo de possibilidade de produção mais limpa.

#### 5.6.1 Fluxograma do processo de produção

O fluxograma do processo de produção (Figura 6) será descrito de maneira a facilitar a compreensão do processo.

A produção ocorre em bateladas de 350 litros, e inicia com a separação dos maltes, lúpulos e sais necessários do estilo produzido. Os maltes são moídos no moinho de rolo na sala de moagem, quando a tina de mostura já foi enxaguada com água quente e enchida com o volume de água proposto pela receita, o malte é arriado para a tina e inicia-se o processo de mosturação.

Ao final do processo de mosturação é realizada a circulação do mosto pelo meio filtrante, cama de grão de bagaço de malte, e então é feita a transferência para a tina de fervura, em seguida é utilizado um volume de água secundário para realizar a lavagem do bagaço de malte, para assim extrair açúcares remanescentes e garantir melhor eficiência na geração do mosto, o controle do processo é feito através da análise da densidade do mosto, por meio de refratômetros e densímetros.

Após finalizada a transferência para a tina de fervura, são acionadas as resistências pelo painel de controle a fim de realizar a fervura do mosto. Durante esse processo de fervura são adicionados os lúpulos relacionados na receita para conferir, principalmente amargor e sabor ao mosto.

Ao final da fervura, é realizada novamente a verificação da densidade do mosto, se estiver de acordo com a prevista, é realizado o *Whirlpool*, um movimento circular manual realizado pelo cervejeiro para concentrar a matéria vegetal do lúpulo e as proteínas presentes do mosto no centro da tina, formando um cone de sólidos. Esse material se chama trub quente, e é necessária a separação entre este material e o mosto no final da Fervura.

Após a separação do trub quente, o mosto passa por um trocador de calor, onde ocorre o resfriamento com troca de calor entre mosto, água em temperatura ambiente, e glicol

refrigerado. A água, após passar pelo trocador e absorver calor vai para o reservatório de água da cervejaria, o glicol entra no trocador de calor a uma temperatura de aproximadamente -3°C, e é responsável por reduzir a temperatura do mosto a aproximadamente 20°C.

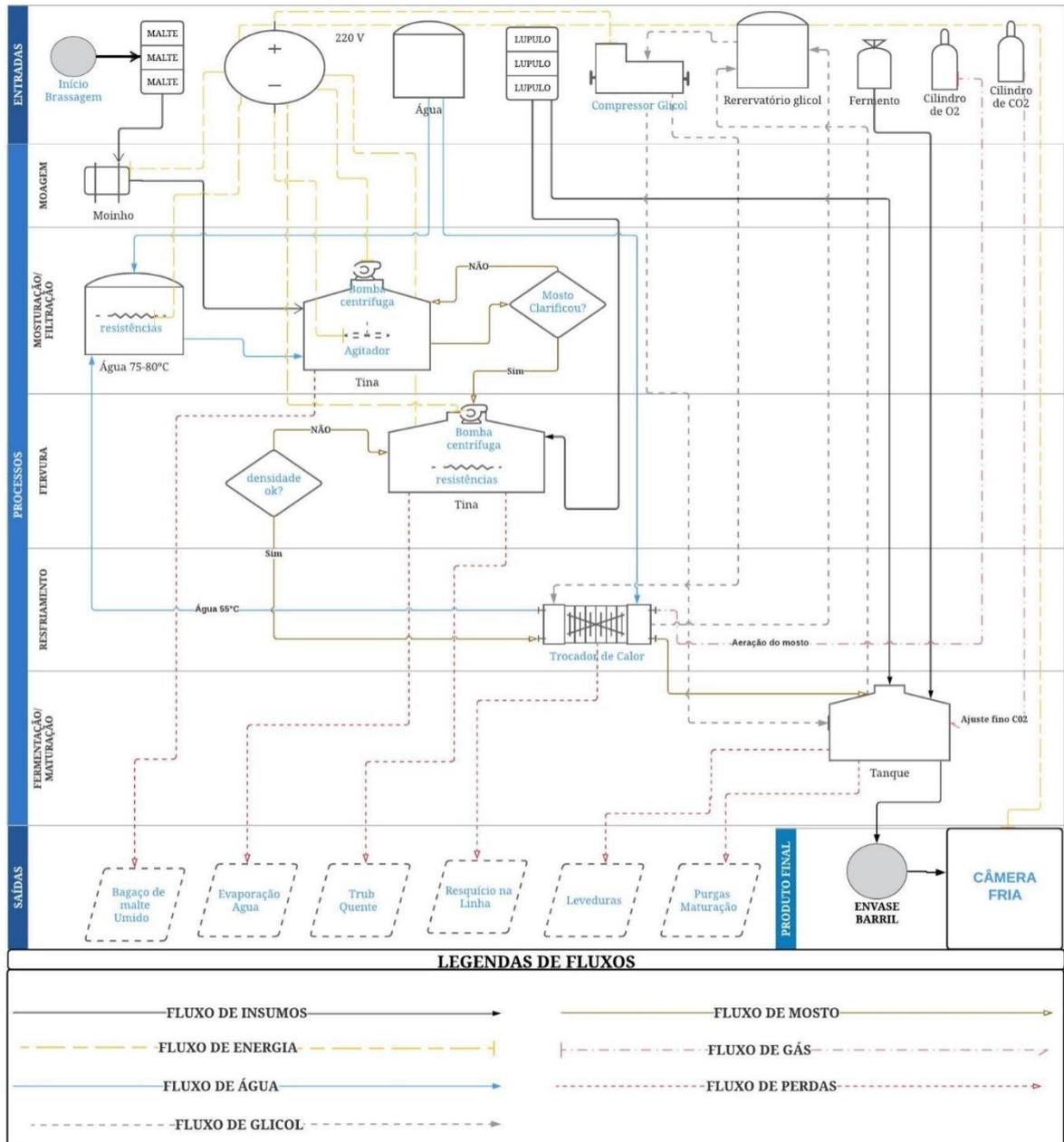
Neste processo de resfriamento do mosto no trocador de placas, ocorre a injeção de oxigênio com o objetivo de aerar o mosto e prover melhor condição para o processo de fermentação; logo após de resfriado e aerado, o mosto é encaminhado para o fermentador que deve estar devidamente sanitizado. No processo de resfriamento e transferência, observou-se um residual de mosto nas vias utilizadas, trocador de placas e mangueira. Terminado o resfriamento e a transferência para o fermentador, é realizado o inóculo da levedura e então se inicia o processo de fermentação.

O processo de fermentação é controlado a partir da densidade do mosto, a atenuação da densidade do mosto representa a evolução do consumo dos açúcares presentes no mosto pelas leveduras, transformando-os em dióxido de carbono e etanol. A pressão do tanque de fermentação é controlada por um manômetro, o que possibilita o aproveitamento do volume de dióxido de carbonogerado no processo de fermentação.

Ao final do processo de fermentação, a temperatura do tanque, controlada pelo glicol a partir do acionamento do termostato instalado, é reduzida para aproximadamente 0°C, iniciando, assim, o processo de maturação da cerveja. Nesse processo ocorre a decantação das leveduras e então a extração delas. Ao término da fermentação, normalmente, se realiza a adição de lúpulos (*dry hopping*), ao ocorrer a decantação desse material junto com demais resíduos de médio e alto peso molecular, ocorre a purga do tanque conforme o avanço da maturação.

No final da maturação, a cerveja está pronta para o envase em barris, e neste processo é utilizado um cilindro de dióxido de carbono para realizar o ajuste fino da carbonatação. Após o término do envase, a cerveja é armazenada na câmara fria da microcervejaria.

Figura 6 – Fluxograma do processo de produção da microcervejaria



Fonte: elaborado pelo autor

### 5.6.2 Fluxograma do processo de CIP

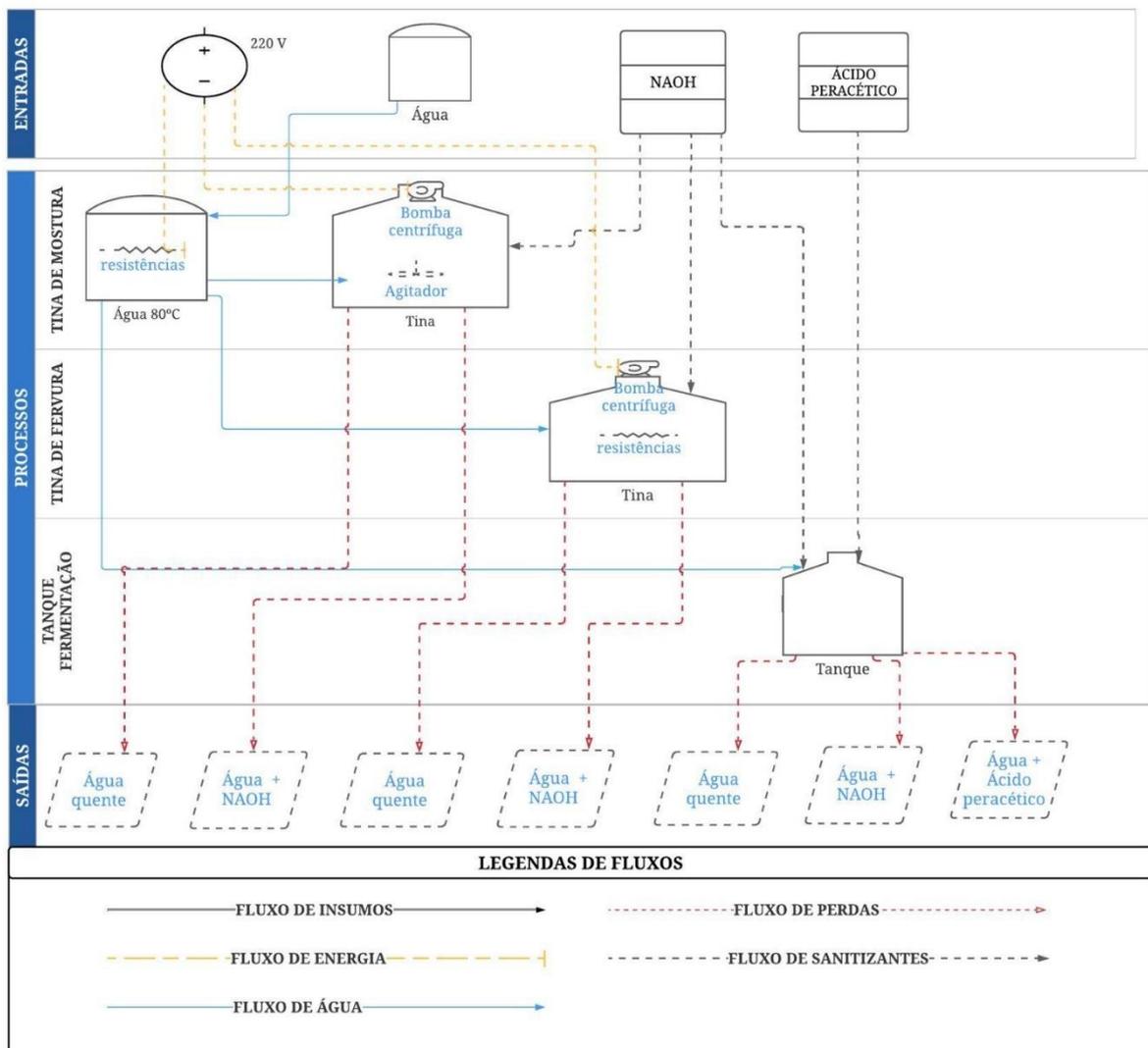
O fluxograma do processo de CIP (Figura 7) será descrito de maneira a facilitar a compreensão do processo.

A microcervejaria realiza o CIP, separadamente, nas tinas de mostura, fervura e tanque de fermentação. O processo inicia a partir do enxágue das tubulações com água a uma temperatura de aproximadamente 80°C e após enxágue é feito uma solução de 0,6 litros de hidróxido de sódio (NaOH) e 60 litros de água a 80°C, após a passagem do agente alcalino é

realizado enxágue, e também, um teste com fenoltaleína para verificar se não há resquícios de hidróxido de sódio.

No CIP do tanque de fermentação, é realizado o mesmo processo que nas tinas de mostura e fervura, porém, após o enxágue do hidróxido de sódio, é realizado um banho com ácido peracético, a fim de assegurar a qualidade microbiológica das superfícies. O banho de ácido peracético deve ser realizado eminentemente antes do uso do fermentador, pois microrganismos indesejáveis que não foram eliminados podem se multiplicar após a etapa de limpeza a qual tem por função eliminar os microrganismos patogênicos.

Figura 7 – Fluxograma do processo de CIP

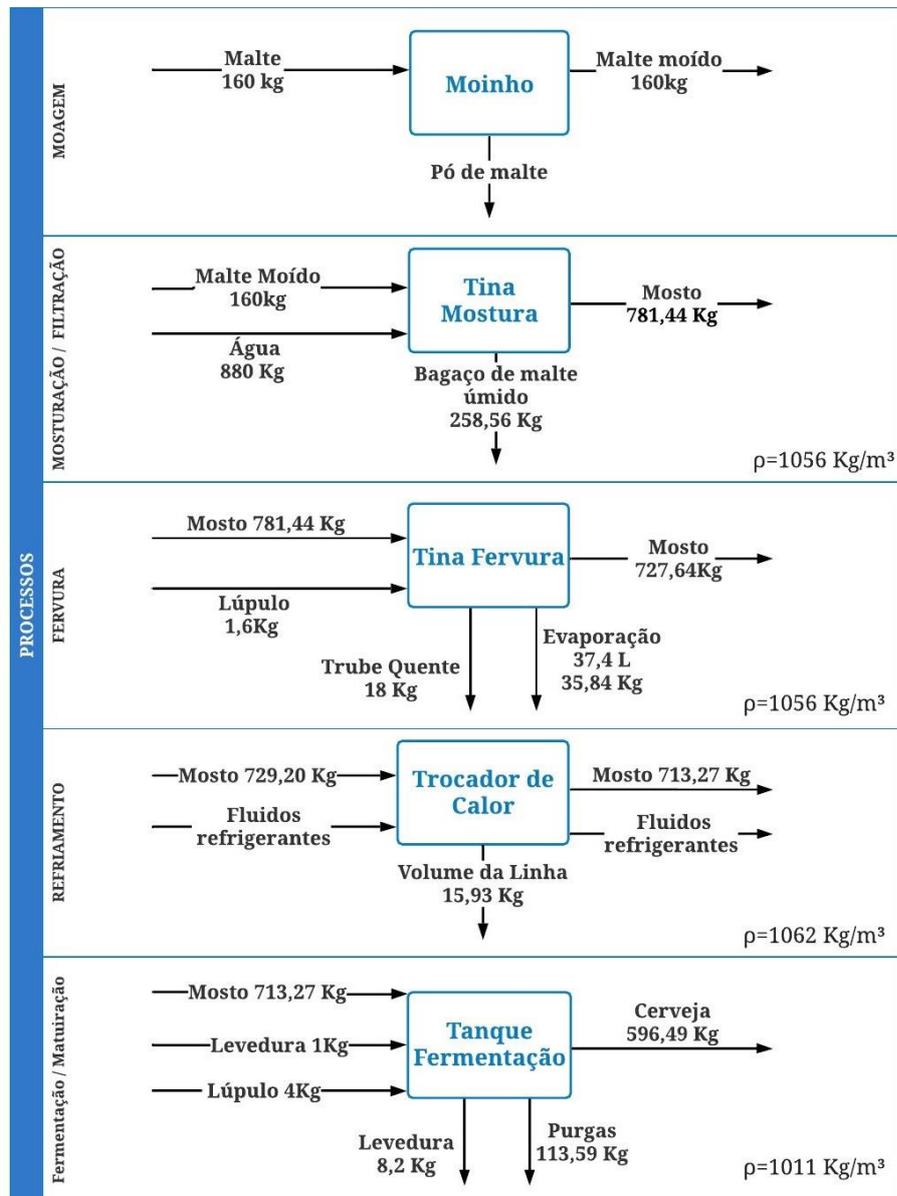


Fonte: elaborado pelo autor

### 5.6.3 Fluxo qualitativo e quantitativo dos processos

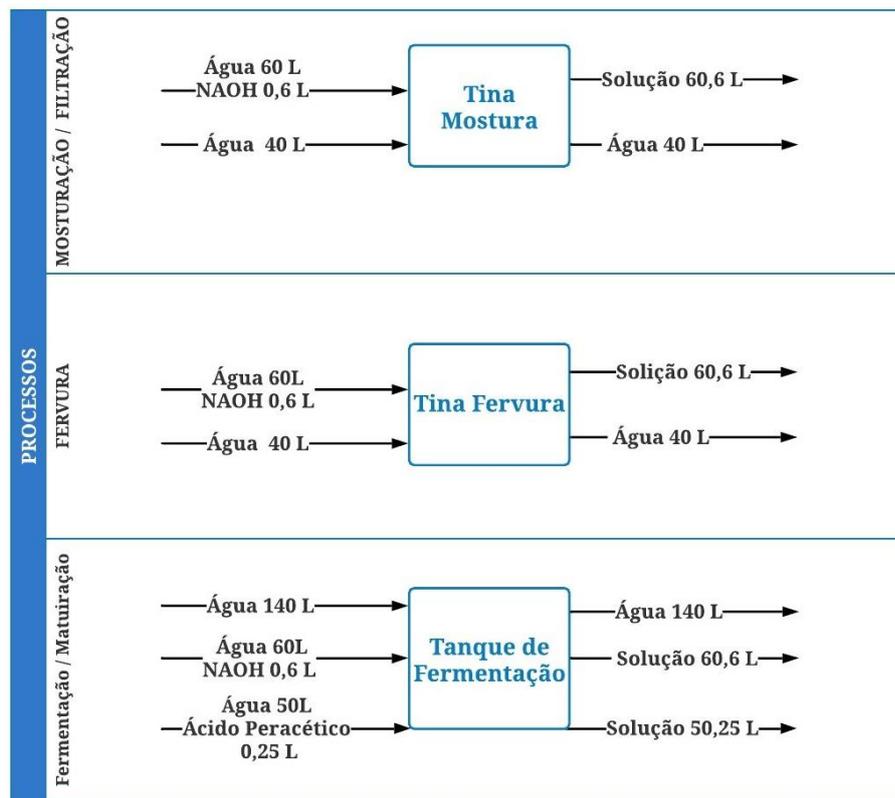
O diagrama de blocos do processo (Figura 8) representa a análise qualitativa e quantitativa do processo. Através do diagrama é possível compreender o fluxo dos insumos e as emissões de resíduos de cada processo. A Figura 9 representa a mesma análise realizada para os processos de limpeza (CIP) da tina de mostura, fervura e do tanque de fermentação.

Figura 8 – Análise qualitativa e quantitativa do processo



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 9 – Análise qualitativa e quantitativa do processo de CIP



Fonte: elaborado pelo autor

#### 5.6.4 Seleção do foco de avaliação

A seleção do foco de avaliação foi realizada considerando o fluxograma do processo e a análise qualitativa dos resíduos gerados no processo.

Entende-se a definição da seleção do foco como continuidade e aperfeiçoamento dos objetivos de P+L que foram definidos durante a fase de planejamento e organização. A determinação do foco de avaliação realizou-se com base nos resultados dos fluxogramas e das análises qualitativas das etapas produtivas, onde foram contemplados quais são os aspectos de maior relevância dentro do processo produtivo. Com isso, o foco de avaliação do processo de produção de cerveja foi direcionado para a análise do consumo de matéria prima, de água, de energia, e na geração e emissão de resíduos e efluentes.

### 5.7 ETAPA 3

#### 5.7.1 Balanço de massa

O balanço de massa foi feito a partir do fluxograma qualitativo do processo da produção de cerveja, e também da limpeza das tinas de mostura e fervura e do tanque de fermentação. A partir dele foi possível identificar e quantificar as quantidades dos insumos envolvidos na produção e, também realizar a coleta de dados para a construção dos indicadores.

O fluxo do mosto durante o processo foi observado, e medido, através da relação do volume aferido e a densidade do mosto medida por densímetros e refratômetro durante o processo.

Já os volumes de emissões, como trub quente, volume residual da linha de resfriamento e coleta de leveduras foram todas recolhidas e pesadas. A retirada do excesso de levedura e purgas finais são realizadas através da torneira presente no cone do tanque fermentador como ilustrado na figura 19 do anexo A – Ilustrações. O volume de evaporação foi medido pela diferença de volume entre o início e o final do processo de fervura. O valor referente às purgas finais compreende as purgas realizadas durante o processo de fermentação, maturação, que foram coletadas e pesadas, e também o volume residual do processo de envase, não envasado por excesso de sedimentos remanescentes na cerveja que impossibilitam o envase.

### 5.7.2 Resíduos Gerados

A caracterização dos resíduos gerados nas duas bateladas, identificada na Tabela 1, foi realizada considerando os resíduos de bagaço de malte, trub quente, leveduras e purgas finais. De acordo com a composição e pesagem dos resíduos identificou-se a composição gravimétrica com grande composição de bagaço de malte com 64,92%, trub quente com 4,52%, leveduras com 2,06% e purgas finais com 28,5%.

A retirada e acondicionamento do bagaço de malte para pesagem e estão ilustrados nas figuras 15 e 17 do anexo A – Ilustrações, o bagaço de malte é acondicionado em bombonas para retirada realizada por um agricultor que utiliza o material para complemento de ração animal.

A coleta do excesso de levedura e lúpulos está ilustrada na figura 20 do anexo A – Ilustrações onde é possível visualizar a aparência dos materiais que se acumulam, por decantação durante o processo de maturação, no cone do tanque fermentador.

Tabela 1 – Composição gravimétrica dos resíduos

Resíduos	Massa (kg)	Composição gravimétrica
Bagaço de malte	258,56	64,92
Trub quente	18,00	4,52
Levedura	8,20	2,06
Purgas finais	113,59	28,5
Total	398,35	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A partir da composição gravimétrica foi obtido o IR, índice de resíduos gerados no processo produtivo de 0,67 kg de resíduos emitidos para cada litro de cerveja produzida.

Atualmente, o bagaço de malte é recolhido por agricultores e aplicado como complemento de ração animal. Já o trub quente, o excesso de levedura do processo e as purgas finais são descartadas na rede de esgoto municipal.

### 5.7.3 Consumo de água

Para a realização do balanço hídrico, é necessária a quantificação do volume total de água utilizado no processo. Os volumes de água da cervejaria, para os processos de produção, CIP da tina de mostura, CIP da tina de fervura, CIP do tanque de fermentação e limpeza de barris, foram observados e medidos a partir da régua de nível de água instalada no reservatório da cervejaria.

Para o processo de limpeza do piso e limpeza externa dos equipamentos, a água provém de uma ligação direta da rede onde se utiliza uma mangueira com uma pistola de esguicho instalada. Para esses processos, realizou-se uma medição empírica para se descobrir a vazão desta torneira.

Mediu-se o tempo necessário para preencher um volume conhecido e, através da Equação 5, foi possível aferir de forma experimental a vazão da torneira.

$$qv = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (5)$$

Onde,

qv = vazão volumétrica

$\Delta V$  = Volume acumulado

$\Delta t$ = tempo de uso

O Valor de vazão obtido foi de 0,176 l/s, e a partir do valor de vazão volumétrica vezes o tempo de uso da torneira estimou-se o volume aproximado de água utilizado nos processos em que não se utilizou a água proveniente do reservatório da microcervejaria.

Com o fluxograma, e utilizando o conceito de balanço de massa, obteve-se a análise dos consumos de volume de água e agentes sanitizantes. A Tabela 2 apresenta os volumes utilizados no processo de CIP das tinas de mostura e fervura, e também do tanque fermentador utilizados para receber as duas bateladas para preencher o fermentador de 600 litros.

Tabela 2 – Volumes utilizados nos processos de CIP

Local	Volume (L)	NAOH (L)	Ácido Peracético (L)
Tina de mostura NAOH	60	0,6	-
Tina mostura enxágue	40	-	-
Tina de fervura NAOH	60	0,6	-
Tina fervura enxágue	40	-	-
Enxágue Fermentador	140	-	-
CIP NAOH fermentador	60	0,6	
CIP Ácido peracético fermentador	50	-	0,25
Total	450	1,8	0,25

Fonte: elaborado pelo autor

O volume utilizado no processo de duas bateladas de 350 litros se encontra na Tabela 3.

Tabela 3 – Volume de água para as produções

Etapa	Volume (L/Batelada)	Porcentagem (%)
Enxágue tinas pré produção	120	6,51
Produção	880	47,80
Enxágue pós produção	360	19,54
Limpeza área externa	198	10,75
Limpeza piso	284	15,40
Total	1.842	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

Atualmente, a lavagem de barris é feita de forma manual e ocorre a partir das de um enxágue inicial, seguido da adição de uma solução de 10 litros de água e 0,1 litros de hidróxido de sódio e, por fim, é realizado três enxágues para retirar qualquer resquício de hidróxido de sódio (Tabela 4).

Tabela 4 – Volume de água no processo de limpeza de barril

Etapa	Volume (L/Barril)	Porcentagem (%)
Enxágue barril	10	20
Solução de NaOH	10	20
Enxágue barril pós NaOH	30	60
Número de barris utilizados	12	-
Total	600	100

Fonte: elaborado pelo autor

O consumo de água na limpeza dos barris está diretamente relacionado com a quantidade de barris que serão utilizados no envase final do produto. No acompanhamento deste processo de produção foram envasados 590 litros de cerveja, necessitando 12 barris.

Assim, através da Tabela 5, apresenta-se todo o volume de água utilizado no processo de produção e processo de CIP para duas bateladas de 350 litros.

Tabela 5 – Água consumida

Etapa	Volume (L/Barril)	Porcentagem (%)
CIP total	450	15,55
Produção	1.842	63,7
Limpeza barris	600	20,75
Total	2.892	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

Com os dados obtidos do volume total de água consumida, é possível, a partir do dado de cerveja envasada deste fermentador, obter o índice de consumo de água.

Conforme a Tabela 5, foram consumidos 2.892 litros, e no processo observado obteve-se 590 litros de cerveja envasados. Logo, a partir da Equação 2, obteve-se o ICA, índice de consumo de água de 4,9 litros de água consumida por litro de cerveja produzida.

#### 5.7.4 Consumo energético

Foi obtido o ICE através da relação de produção mensal com consumo absoluto mensal de quilowatt/hora (KWh).

Algumas observações são relevantes referentes ao consumo de energia da microcervejaria:

- O processo de moagem do malte é realizado por um moinho elétrico;
- O reservatório de água quente da cervejaria é aquecida por resistências elétricas que são acionadas pelo painel de controle;
- Todo processo de transporte do mosto é realizado por bombas centrífugas acionadas a partir do painel de controle;
- A fervura é realizada por resistências presentes na tina de fervura, e são acionadas pelo painel de controle;
- O sistema de refrigeração da cervejaria é composto por compressão de vapor, no qual o fluido refrigerante é o glicol, sua temperatura é controlada pelo painel de controle;
- O resfriamento do mosto é realizado no trocador de calor através do fluxo de água em temperatura ambiente e do fluxo do glicol refrigerado através do compressor;
- O sistema de refrigeração da cervejaria, que aciona o glicol, é função das temperaturas dos fermentadores, e essas temperaturas são setadas no painel de controle;
- Após o envase, o armazenamento da cerveja é feito em câmara fria, e essa mantém o controle da temperatura através de um compressor próprio.

O ICE foi calculado com a Equação 1, utilizando-se de informações disponibilizadas nos faturamentos mensais de consumo de energia elétrica, referentes ao intervalo compreendido entre abril e setembro de 2021.

Tabela 6 – Índice do consumo energético

Mês	Consumo (KWh)	Volume produzido (L)	ICE
Abr./2021	2.490	882	2,82
Mai./2021	2.878	1.390	2,07
Jun./2021	2.543	2.652	0,96
Jul./2021	3.354	3.280	1,02
Ago./2021	3.557	3.345	1,06
Set./2021	4.029	1.482	2,71

Fonte: elaborado pelo autor

A análise do consumo energético, apresentado na Tabela 6, foi realizada considerando o consumo energético global mensal do estabelecimento e o volume mensal de cerveja produzido. A cervejaria tem produção instalada desde janeiro de 2021, porém só possui volume documentado de produção a partir de abril de 2021.

Em uma análise da potência de cada equipamento, constatou-se que a câmara fria é o equipamento que tem maior potencial consumidor de energia elétrica, sendo muito influenciado pela sazonalidade de cada estação do ano. Logo, a análise do indicador ICE, utilizando o consumo global mensal, fica sujeita a grande oscilação de consumo energético da câmara fria.

Para a realização de uma análise mais detalhada do desempenho energético produtivo, que viabilize melhor análise para aplicação de técnicas de Produção mais Limpa, é indicado a instalação de medidores de energia que possibilitem a realização de uma análise do consumo de energia por setor, e por processos.

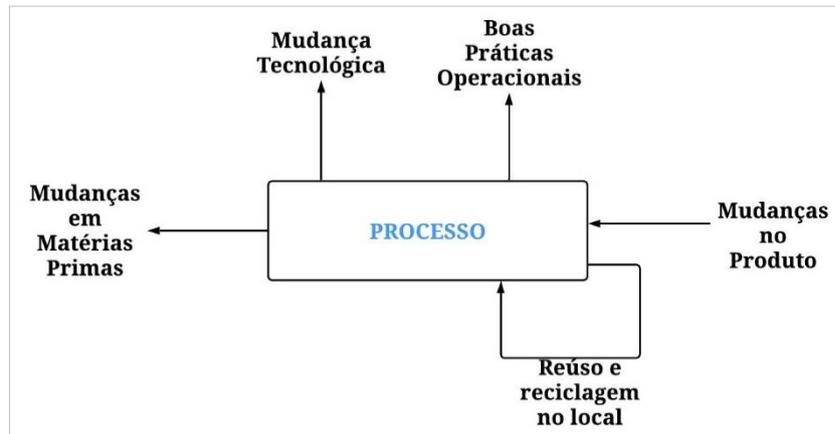
#### 5.7.5 Identificação das opções de Produção mais Limpa

Após a realização do fluxograma do processo, balanço de material e conhecida as fontes e causas dos resíduos e emissões, serão realizadas proposições de possibilidade para alcançar o objetivo de uma P+L.

Esse processo envolve a utilização das informações adquiridas durante o estudo e também do processo criativo dos responsáveis pela prática de P+L direcionadas para os aspectos ambientais de maior relevância, escolhidos na etapa de seleção de foco de avaliação.

A Figura 10 demonstra uma estrutura de utilização de elementos do processo para gerar oportunidade de produção mais limpa.

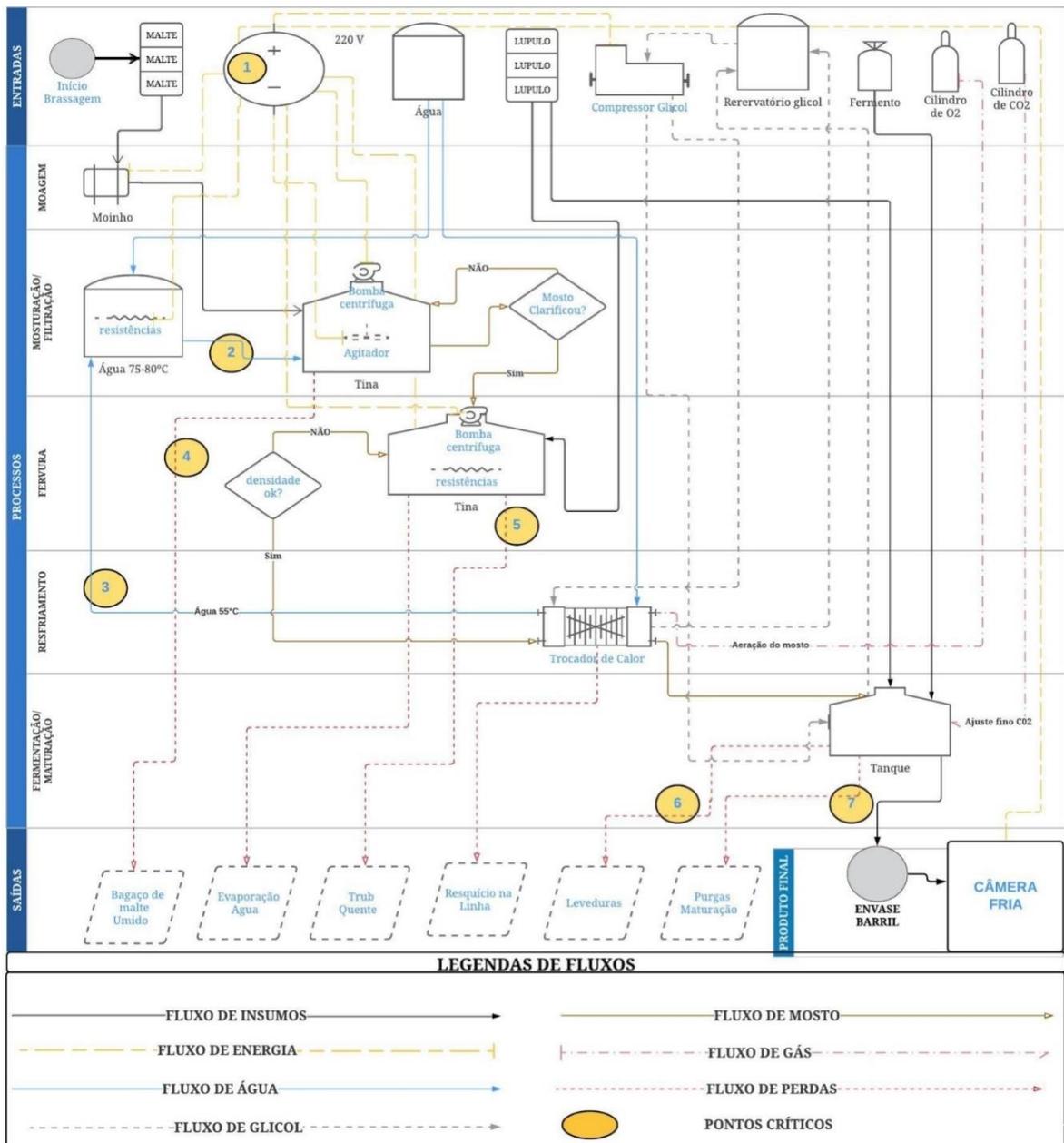
Figura 10 – Elementos do processo para oportunidades de P+L



Fonte: adaptado de CNTL (2003)

Na Figura 11 foram identificados os pontos com oportunidades de aplicação de técnicas de P+L, destacados pelos círculos amarelos enumerados.

Figura 11 – Identificação dos pontos com oportunidades de P+L na produção



Fonte: elaborado pelo autor

- O ponto 1 representa o consumo de energia, devido ao *layout* da instalação de produção, todo o processo depende de energia elétrica, sendo assim, dependente de grande demanda para o processo.
- O ponto 2 identifica o fluxo da água que sai do reservatório de água quente para a tina de mosturação; nesta etapa foi identificado o desperdício de energia e de água por falta de padronização das quantidades de água utilizada nos enxágues pré produção.

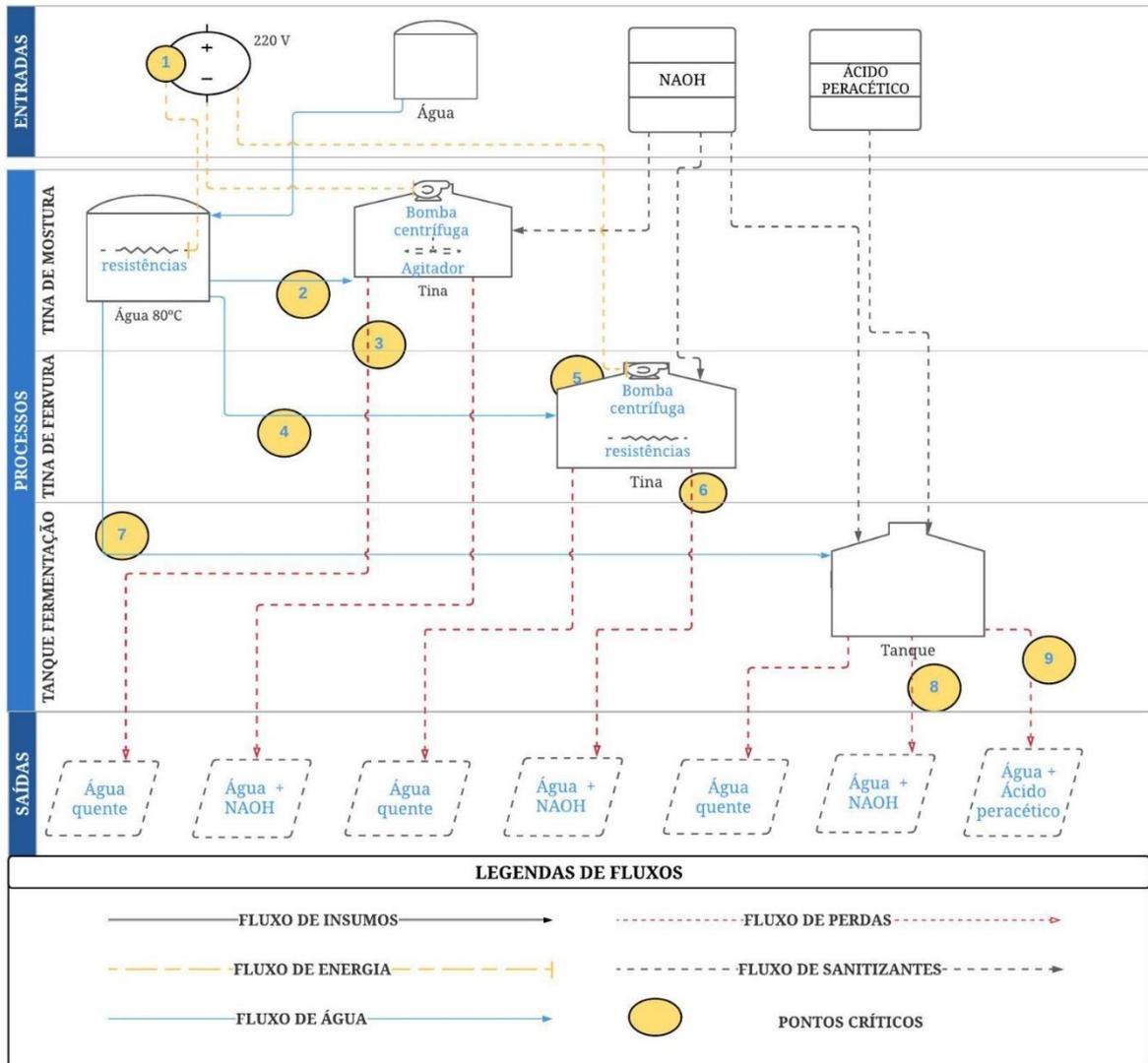
- O ponto 3 representa o retorno de água aquecida com a absorção de calor no processo de resfriamento; nesta etapa foi identificada a possibilidade de aproveitamento do calor absorvido pela água no trocador de calor para aplicação em outro processo.
- O ponto 4 representa a emissão de grande volume de resíduo orgânico, este resíduo atualmente é recolhido para utilização como suplemento de ração animal sem ganhos financeiros; nesta etapa é identificada a oportunidade de rentabilização do resíduos através comercialização do material para geração de adubo através de compostagem.
- Para os pontos 5, 6 e 7 identificou-se a possibilidade de utilização dos resíduos gerados para a destinação junto ao bagaço de malte para consumo animal. Verde et al. (2019) apontam a relação de simbiose entre as cadeias de produção de cervejarias e de suínos, interligadas pela geração e destinação sustentável de resíduos sólidos orgânicos, demonstrando que o manejo ambiental dos resíduos gerados nas cervejarias são reduzidos a zero para destinação final em aterros.

Ainda sobre a identificação de P+L, conforme descrito por Seluy e Isla (2014), entende-se que a emissão de efluentes gerados no processo de produção da cerveja compreende o excesso de levedura e outros aditivos, resíduos sólidos de bagaço, e cerveja oriunda de perdas na linha de produção. A microcervejaria possui uma peneira coletora de partículas de malte ou demais resíduos sólidos que venham a entrar na rede junto aos efluentes, filtrando assim essas partículas.

#### 5.7.6 Identificação das opções de Produção mais Limpa no CIP

Na Figura 12 foram identificados os pontos com oportunidades de aplicação de técnicas de P+L dentro do processo de CIP das tinas de mostura, fervura e do tanque de fermentação. Os mesmos foram destacados pelos círculos amarelos enumerados.

Figura 12 – Fluxograma com pontos críticos do CIP



Fonte: elaborado pelo autor

- O ponto 1 representa o consumo de energia durante o processo de aquecimento da água para realização do CIP, seja na tina de mostura, fervura ou no tanque de fermentação, o processo necessita de água a uma temperatura entre 60°C e 80°C;
- O ponto 2 identifica o fluxo da água que sai do reservatório de água quente para a tina de mosturação; nesta etapa foi identificado o desperdício de energia e de água por falta de controle do volume de água enviado para o reservatório e falta de controle de set de temperatura no painel de controle;
- Os pontos 3,6,8 e 9 representam o volume da solução sanitizante do CIP descartado em excesso em função da configuração do processo de CIP. Nota-se, também, o envio de efluente líquido para a rede sem controle dos parâmetros de emissões exigidos pela legislação;

- O ponto 4 e 7 representam o consumo de água em excesso em função do formato de realização de CIP individual para cada tina e tanque.
- De todos os apontamentos, o ponto 5 se diferencia dos demais por ser referente a um problema estrutural na escotilha da tina de fervura; essa escotilha é utilizada apenas no processo de CIP, logo o defeito constatado só interfere nesse processo. Há falta de vedação na escotilha, que favorece a perda de volume de solução sanitizante no processo do CIP, esse vazamento de solução sanitizante acarreta na necessidade de realização de uma nova solução para realizar o CIP nos demais equipamentos.

Foram indicados nove pontos no processo. Para os pontos 1,2,3,5,7,8 e 9, visualizou-se o emprego e consumo de energia, água e agentes sanitizantes em excesso devido a uma falha estrutural e ao formato de processo de CIP realizado pela microcervejaria.

Com a realização da mudança da estrutura de processo de CIP e a manutenção do problema verificado no ponto 5 é possível a realização do CIP sequencial em tina de fervura, tina de mostura e tanque fermentador, assim mudando o fluxograma do processo e reduzindo a cadeia de sanitização. Portanto, essa alteração permite a elaboração única de solução sanitizante, resultando assim na minimização das emissões dos demais itens identificados no fluxograma da Figura 10.

Ainda sobre os sistemas de higienização, não são passíveis de aplicação de regras rígidas nem transversais às diversas empresas, mesmo que de mesma área industrial, por consequência da diversificação da composição do produto final (ROCHA, 2017).

Ainda que possível adequar o processo do CIP para condições de redução de emissões e otimização de processo, (ROCHA, 2017) aponta que para os diferentes formatos de otimização dos processos de CIP na indústria da cerveja, e para a adequada limpeza e desinfecção de um equipamento, é necessária ser garantida a eficiência do processo através da amostragem da solução sanitizante ao início e ao fim do processo do CIP, essa amostragem precisa garantir o cumprimento dos parâmetros definidos para o processo de higienização.

Há possibilidade, também, de redução de consumo de água dentro do processo de limpeza a partir de definição de procedimentos e realização de controle através da instalação de controladores de fluxo de água para uso no processo.

As demais possibilidades encontradas para práticas de produção mais limpa dentro do processo de fabricação de cerveja em uma microcervejaria são mencionadas e descritas a seguir no Quadro 3.

Quadro 3 – Possibilidades de P+L a partir de pontos críticos

Possibilidade de P+L	Prática P+L	Descrição medida	Expectativa
Utilização excessiva de água durante o processo de fabricação da cerveja	Redução da quantidade de água utilizada por cada litro de cerveja produzido	Redução na fonte	Minimização do consumo de recursos hídricos.
Falta de controle da temperatura desejada no reservatório da microcervejaria	Instalação de um Termostato no painel de controle	Redução na fonte	Minimização do consumo de recursos energéticos.
Falta de controle no enchimento do reservatório de água da microcervejaria	Instalação de uma boia de nível para evitar extravasamento do reservatório de água quente	Redução na fonte	Minimização do consumo de recursos hídricos e energéticos.
Desconsiderar energia absorvida pela água no processo de resfriamento	Aproveitamento da energia absorvida pela água no processo de resfriamento em outro processo	Redução na fonte	Minimização do consumo de energia.
Toda a iluminação da microcervejaria provém de Lâmpadas	Substituição de parte das telhas galvanizadas do galpão por telhas transparente	Redução na fonte	Minimização do consumo de energia.
Lançamento do Trub Quente junto ao efluente líquido	Pode ser coletado e misturado com bagaço de malte para complemento de ração animal	Redução na fonte	Evitar aporte de carga orgânica no efluente da microcervejaria.
Lançamento de Leveduras e resíduos de purgas junto ao efluente líquido	Pode ser coletado e misturado com bagaço de malte para complemento de ração animal	Redução na fonte	Evitar aporte de carga orgânica no efluente da microcervejaria.
Perda de volume de solução sanitizante no CIP por falha na escotilha de fervura	Uso eficiente e manutenção das instalações	Redução na fonte	Redução no consumo de matéria prima
Alta necessidade de energia dentro do fluxograma do processo.	Utilização de energia solar fotovoltaica	Modificação de tecnologia	Uso de fontes renováveis
Falta de planejamento e controle sobre as medidas ambientais.	Análise da conformidade ambiental através dos indicadores	Boas práticas operacionais	Conhecimento dos resultados sobre os ganhos obtidos em termos ambientais e econômicos
Eficiência reduzida dos processos na utilização das instalações e equipamentos.	Layout eficiente das instalações com boa sinalização para orientar os operadores	Boas práticas operacionais	Redução no consumo de energia, tempo de processo, limpeza
Ausência de educação ambiental e conscientização dos colaboradores	Conscientização dos colaboradores	Boas práticas operacionais	Conscientização ambiental
Instalação de medidores de fluxo de água em pontos estratégicos do processo.	Melhorar informações referentes aos volumes de água utilizados no processo.	Boas práticas operacionais.	Melhorar o resultado do indicador de consumo de água.
Instalação de medidores de potência consumida dentro do processo.	Melhorar informações referentes ao consumo de energia durante o processo.	Boas práticas operacionais.	Melhorar o resultado do indicador de energia.
Falta manutenção dos compressores de Glicol e Câmera fria	Uso eficiente das instalações	Boas práticas operacionais	Minimização do consumo de recursos energéticos.

Fonte: elaborado pelo autor

## 6 CONCLUSÕES

A proposta para a utilização da metodologia de produção mais limpa em uma microcervejaria se confirmou muito viável e pragmática. A utilização da P+L se demonstrou, conforme descrita na Figura 1, como uma metodologia estratégica aplicada a qualquer produto, processo ou serviço e com resultados objetivos que podem proporcionar aumento na eficiência e com grande capacidade de melhorar o desempenho ambiental (PEREIRA; SANT'ANNA, 2012).

O processo de construção do fluxograma do processo produtivo se revelou fundamental para o desenvolvimento da metodologia e compreensão do processo produtivo. Como parte prevista pela aplicação de P+L, a utilização do fluxograma possibilita a visualização qualitativa de insumos, água, energia e resíduos durante o processo, e também na posterior realização do balanço de massa. Logo, elaborar o fluxograma de um processo na metodologia de P+L é uma ferramenta estratégica para o mapeamento de inconformidades ambientais em uma microcervejaria.

No processo de implementação da P+L, há uma interligação entre as etapas propostas, a observância dos resultados dos objetivos anteriores são de grande importância para a realização das etapas seguintes. Assim, a análise dos fluxos quantitativos do processo de produção da microcervejaria foi muito facilitada a partir da informação obtida na análise qualitativa. O estudo dos fluxos de entradas e saídas foi fundamental para compreender os principais fluxos no e visualizar de forma quantitativa as gerações e emissões de resíduos e possibilitou a caracterização desses resíduos gerados na produção da microcervejaria.

Com a compreensão dos principais atores do processo de geração de resíduos da produção, foi possível a elaboração de propostas de indicadores ambientais para gerar possibilidade de acompanhar e monitorar, consumo de água e consumo de energia. O ICA foi possível realizar através do controle de volume utilizado do reservatório de água presente na cervejaria, e também por estimativa de vazão de água nos processos em que a água não provém do reservatório. Mesmo sendo possível a geração do indicador o acompanhamento e a geração deste dado seria mais prática e de maior precisão a partir da instalação de medidores de fluxos em pontos estratégicos das tubulações da produção. Para o ICE, o índice se mostra efetivo para uma análise global da produção, porém como o consumo energético tem grande variação sazonal, por conta da câmara fria, a informação gerada pelo índice necessita de um grande espaço temporal para análise. Logo, para o indicador energético, se mostrou necessário

uma instalação de equipamento para análise de potência consumida, o que ajudaria a compreender o consumo global e de cada etapa da produção de cerveja.

A identificação das opções de P+L foi possível através da construção realizada das etapas anteriores, nesta etapa é possível identificar proposições que tenham como objetivo minimizar e reduzir as inconformidades ambientais apresentadas pelo processo produtivo da microcervejaria. A metodologia aplicada dentro do universo da microcervejaria apontou possibilidades de P+L nas áreas de mudança de fluxo de processo, redução na fonte, boas práticas operacionais e mudanças de tecnologia. É importante esclarecer que a metodologia de P+L é um processo contínuo e preventivo e que o seu desenvolvimento contempla ainda a etapa 4 e a etapa 5 não realizadas neste trabalho.

Sendo assim, a aplicação da metodologia de aplicação mais limpa para o mapeamento e inconformidades ambientais e identificação de oportunidades para reduzir os impactos ambientais gerados pelo processo de produção em uma microcervejaria, se mostrou uma ferramenta adequada e com possíveis resultados para esse setor de pequenas indústrias em desenvolvimento e expansão em Porto Alegre.

## 7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. D.; SILVA, J. B. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciências e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14001. Sistema de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso**. São Paulo: ABNT, 2015.

ARAÚJO, A. F. **A aplicação da metodologia de produção mais limpa: estudo em uma empresa do setor de construção civil**. 2002. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84192>>. Acesso em: 30 out. 2021

BADINO JUNIOR, A. C.; CRUZ, A. J. G. **Fundamentos de balanço de massa e energia: um texto básico para análise de processos químicos**. 2ª ed. São Carlos, SP: EdUFSCAR, 2013.

BRASIL. **Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994**. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, autoriza a criação da Comissão Intersetorial de Bebidas e dá outras providências. Brasília, 1994. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/18918.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18918.htm)>.

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei no 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, 2009. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm)>. Acesso em: 30 out. 2021

BRIGIDO, R. V.; NETTO, M. S. **Produção de cerveja**. Florianópolis: UFSC, 2006

CARRERA, S. C. **Validação do processo CIP como ferramenta para melhorar a qualidade e a produtividade: estudo de caso em microcervejaria**. 2015. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/136331>>.

CARVALHO, G. B. M.; BENTO, C. V.; SILVA, J. B. A. Elementos biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 1ª. Parte - As leveduras. **Revista Analytica**, [s. l.], v. 25, p. 36-42, 2006. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4075236/mod\\_resource/content/1/Carvalho2006%20Artigo\\_Analitica\\_1\\_As\\_Leveduras.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4075236/mod_resource/content/1/Carvalho2006%20Artigo_Analitica_1_As_Leveduras.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2021

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre: SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2003.

CERVELINI, F. M. **Contribuição do programa de produção mais limpa ao sistema de gestão ambiental ISO 14001: um estudo de caso em indústria do setor metal mecânico**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2006. Disponível em:

<<http://repositorio.uninove.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/303/FERNANDO%20MAGNANI%20CERVELINI%2005-12-2006.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 out. 2021.

CERVIERI JÚNIOR, O.; TEIXEIRA JÚNIOR, J. R.; GALINARI, R.; RAWET, E. L.; SILVEIRA, C. T. J. **O setor de bebidas no Brasil**. Rio de Janeiro: BNDES, 2014. (BNDES Setorial nº 40).

COELHO, A. C. D. **Avaliação da aplicação da metodologia de produção mais limpa UNIDO/UNEP no setor de saneamento – estudo de caso: EMBASA S.A.** 2004. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Guia para a Produção Mais Limpa – Faça você mesmo**. Rio de Janeiro: CEBDS, 2005. Disponível em: <<https://cebds.org/wp-content/uploads/2016/09/Guia-Pra%CC%81tico-de-PmaisL.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2021.

DAL FORNO, M. A. R. **Fundamentos em gestão ambiental**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2017.

FERNANDES, F. **Melhoria dos indicadores microbiológicos em linhas de enchimento de cerveja em barril**. 2012. 205 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2012. Disponível em: <<https://run.unl.pt/handle/10362/7720>>.

FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G. Water, wastewater and waste management in brewing industries. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 14, p. 463-471, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2005.01.002>>.

GALVÃO, M. P. A química da cerveja. **Central das Cervejas**, v. 65, 1997.

GARCIA, C. C. **Retórica e cenário microcervejero nas regiões Sul/Sudeste**. 2012. Monografia (Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, Araçatuba, SP, 2012.

GETZNER, M. The quantitative and qualitative impacts of clean technologies on employment. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 10, p. 305-319, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/S0959-6526%2801%2900042-7>>.

HOFFMAN, A. J. **From heresy to dogma: an institutional history of corporate environmentalism**. San Francisco, EUA: New Lexington Press, Stanford Business Books, 2001.

HOME BREWING WIKI. **Whirlpooling**. 2021. Disponível em: <<https://www.homebrewtalk.com/wiki/index.php/Whirlpooling>>. Acesso em: 4 out. 2021.

HUANG, Y.; TIPPMANN, J.; BECKER, T. Kinetic modeling of hop acids during wort boiling. **International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics**, [s. l.], v. 3, n. 1, jan. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.7763/IJBBB.2013.V3.161>>.

HUGHES, P. S.; BAXTER, E. D. An overview of the malting and brewing processes. In: BAXTER, E. D. **Beer: quality, safety and nutritional aspects**. Cambridge, Reino Unido: The Royal Society of Chemistry, 2001. p. 1-13.

JORGE, É. P. M. **Processamento de cerveja sem álcool**. 2004. 73 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2004. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/8930/material/TCC-Erico%20\(PROCESSAMENTO%20DE%20CERVEJA%20SEM%20%C3%81LCOOL\).pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/8930/material/TCC-Erico%20(PROCESSAMENTO%20DE%20CERVEJA%20SEM%20%C3%81LCOOL).pdf)>

JUNIOR, A. A. D.; VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P. Processo de produção de cerveja. **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 6, p. 61-71, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.19142/rpq.v03i06.p61-71.2009>>. Acesso em: 14 set. 2021.

KUNZE, W. **Tecnología para cerveceros y malteros**. 1ª ed. Berlin, Alemanha: VLB Berlin, 2006.

LACOMBE, F.; HEILBORN, G. **Administração: princípios e 51 tendências**. 3ª ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

MADRID, A.; CENZANO, I.; VICENTE, J. M. **Manual de Indústrias de alimentos**. 1ª ed. São Paulo: Varela, 1996.

MATTOSINHO, C.; PINÓRIO, P. A aplicação da produção mais limpa na construção civil; uma proposta de minimização de resíduos na fonte. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2, 2009, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Anuário da cerveja: 2019**. Brasília: MAPA/DAS, 2020. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pasta-publicacoes-DIPOV>>. Acesso em: 27 set. 2021.

MORADO, R. **Larousse da Cerveja**. 1ª ed, São Paulo: Larousse do Brasil, 2011.

MOSHER, R. **Radical brewing**. Colorado, EUA: Brewers Publication, 2004.

MELLO, M. C. C.; NASCIMENTO, L. F. Produção mais limpa: um impulso para a inovação e a obtenção de vantagens competitivas. In ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, 2002, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: 2002. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR100\\_0846.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR100_0846.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2021.

MÜLLER, C. V.; MARCUSSO, E. F. **Anuário da Cerveja no Brasil 2019: crescimento e inovação**. 2019. Disponível em: <<https://www.cervesia.com.br/noticias/noticias-de-mercado-cervejeiro/7759-anuario-da-cerveja-2019.html>>. Acesso em: 05 out. 2021.

NASCIMENTO, L. F. **Gestão ambiental e sustentabilidade**. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração da UFSC, 2012.

OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 256, n. 20, p 1-21, mai. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.003>>.

OLIVEIRA, N. A. M. **Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja**. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

OMETTO, A.; GUELERE FILHO, A. Discussão do sistema da gestão ambiental – ISO 14001 como instrumento de viabilidade ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STO\\_077\\_542\\_11587.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_542_11587.pdf)>. Acesso em: 2 out. 2021.

PALMER, J. J. **How to brew**. Portland, EUA: Brewers Publications, 2006.

PEREIRA, G. R.; SANT'ANNA, F. S. P. Uma análise da produção mais limpa no Brasil. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, [s. l.], n. 24, p. 17-26, jun. 2012. Disponível em: <[http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes\\_RBCEIAMB/article/view/321](http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCEIAMB/article/view/321)>.

PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing**. 2ª ed. Boca Raton, EUA: CRC Press, 2006.

REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria**. São Caetano do Sul, SP: ADEN, 2007.

RIBEIRO, B. D.; NASCIMENTO, R. P.; PEREIRA, K. S.; COELHO, M. A. Z. **Microbiologia industrial: alimentos (Vol. 2)**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2018.

ROCHA, J. M. R. **Otimização de Programas de CIP na Indústria Cervejeira**. 2017. 102 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017. Disponível em: <[https://sigarra.up.pt/fcup/en/pub\\_geral.show\\_file?pi\\_doc\\_id=138412](https://sigarra.up.pt/fcup/en/pub_geral.show_file?pi_doc_id=138412)>.

RUSSEL, I.; STEWART, G. G. Brewing. In: REHM, H. J.; REED, G. (Eds.). **Biotechnology**. Nova Iorque, EUA: VCH, 1995.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e refrigerantes (Série P + L)**. São Paulo: CETESB, 2005. Disponível em: <[https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas\\_refrigerantes.pdf](https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2021.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Tecnologia cervejeira (SENAI Agrária)**. Rio de Janeiro: SENAI, 2014.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Boletim Potencial de consumo de cervejas no Brasil**. Brasília: SEBRAE, 2015. Disponível em: <<http://www.sebraemercados.com.br/boletim-potencial-de-consumo-de-cervejas-no-brasil/>>. Acesso em: 12 out. 2021.

SEIDL, C. **O catecismo da cerveja**. São Paulo: Editora SENAC, 2003.

SELUY, L. G.; ISLA, M. A. A process to treat high-strength brewery wastewater via ethanol recovery and vinasse fermentation. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [s. l.], v. 53, n. 44, p. 17043-17050, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ie500438j>>.

SHARPE, B. F. R.; LAWS, D. R. J.; The essential oil of hops a riview. **Journal of the Institute of Brewing**, [s. l.], v. 87, p. 96-107, 1981. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/J.2050-0416.1981.TB03996.X>>.

SICSÚ, A. B.; SILVA FILHO, J. C. G. Produção mais limpa: uma ferramenta da gestão ambiental aplicada às empresas nacionais. In ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23, 2003, Ouro Preto, MG. **Anais [...]**. Ouro Preto, MG: ABEPRO, 2003. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR1005\\_0001.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR1005_0001.pdf)>.

SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; MACHADO, Ê. L. Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de ecodesign e logística reversa. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, n. 20, p. 29-37, 2015. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000087843>>. Acesso em: 9 set. 2021.

SILVA, D. O. **Produção de cerveja artesanal tipo pilsen**. 2015. 51 f. Monografia (Graduação em Química Industrial) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2015. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/9484>>.

SILVA, G. C. S.; MEDEIROS, D. D. Metodologia de checkland aplicada à implementação da produção mais limpa em serviços. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 13, n. 3, set./dez. 2006. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/gp/a/nwdybj9VWb9fpMFTvmsyRzj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 19 set. 2021.

SIQUEIRA, P. B.; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alimentos e Nutrição**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 491-498, out./dez. 2008. Disponível em: <<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewArticle/660>>.

TOSTES, L. R. M. **Instrumentação e controle do processo de produção de uma microcervejaria**. 2015. 98 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013395.pdf>>.

TSCHOPE, E. C. **Microcervejarias e cervejarias. A história, a arte e a tecnologia**. São Paulo: Editora Aden, 2001.

VERDE, A. A.; CUCOLO, M. C.; OLIVEIRA, M. L.; C.; CAVALIERI, F. L. B.; ANDREAZZI, M. A.; EMANIELLI, I. P. Destino sustentável de resíduos de cervejaria artesanal: um estudo de casa em uma granja de suínos. **Revista Valore**, [s. l.], v. 4, p. 84-93, 2019. Disponível em: <<https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/317/226>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

## ANEXO A – Ilustrações

Figura 13 - Moagem de Malte



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 14 - Adição de malte na mostura



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 15 - Coleta de bagaço de malte



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 16 - Final da Mosturação



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 17 - Coletor do bagaço de malte



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18 - Final da fervura



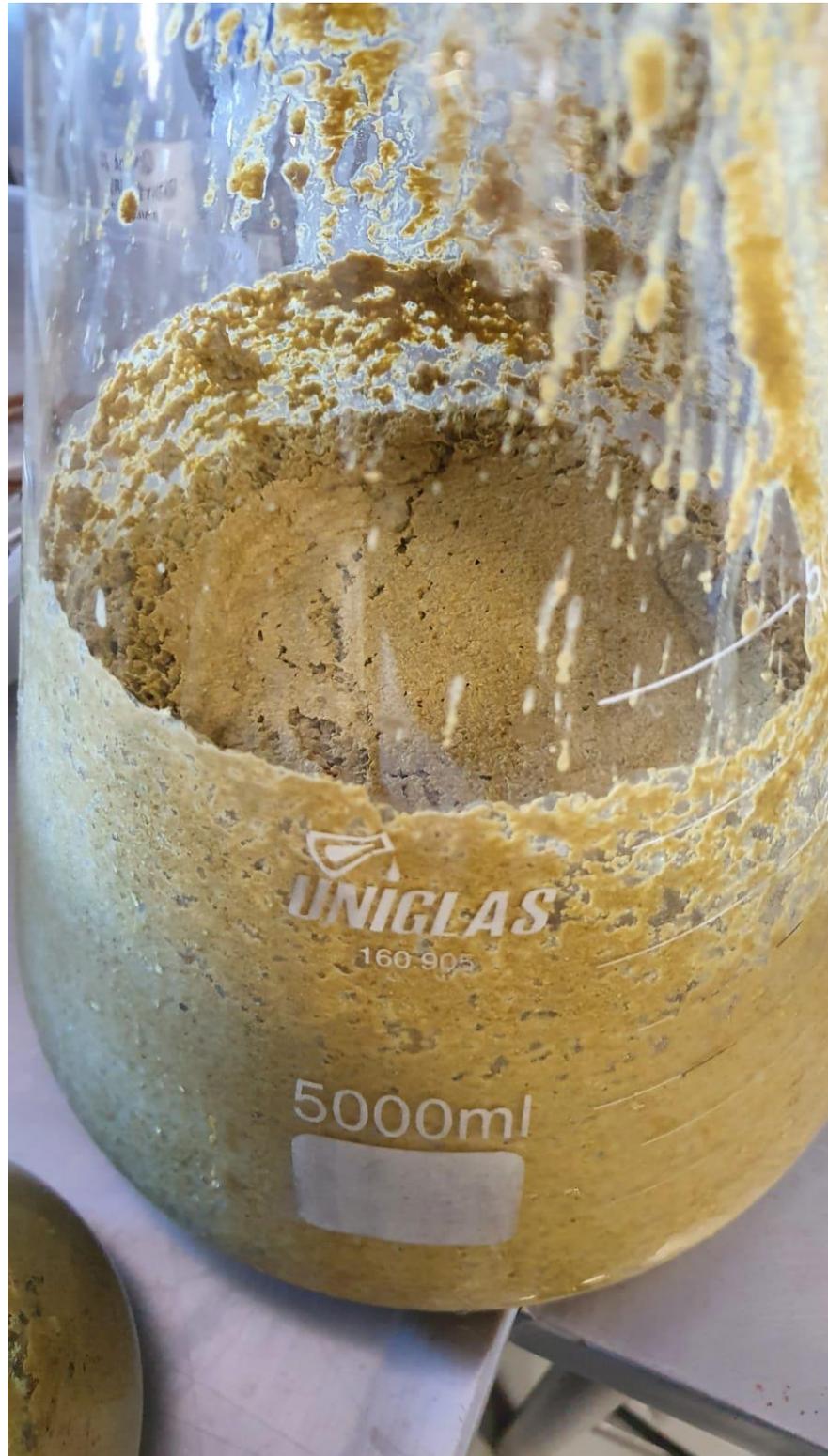
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 19 - Tanques de fermentação



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 20 - Coleta de excesso de leveduras e lúpulo



Fonte: elaborado pelo autor