



# Estimativa Econômica e Mercadológica de um Bioprocesso para Produção de Fermento para Indústria Cervejeira

Isabela Cavalcanti Ribeiro

João Victor Ferreira Vasconcellos de Ambrosio

## Projeto de Final de Curso

Orientadores:

Prof<sup>a</sup>. Priscilla Filomena F. Amaral, *D.Sc.*

Prof. Daniel Tinôco Campos Neto, *M.Sc.*

Outubro de 2021

# **ESTIMATIVA ECONÔMICA E MERCADOLÓGICA DE UM BIOPROCESSO PARA PRODUÇÃO DE FERMENTO PARA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

*Isabela Cavalcanti Ribeiro*

*João Victor Ferreira Vasconcellos de Ambrosio*

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

---

Andréa Medeiros Salgado, *D.Sc.*

---

Thais Lima de Paiva, *M.Sc.*

Orientado por:

---

Priscilla Filomena F. Amaral, *D.Sc.*

---

Daniel Tinôco Campos Neto, *M.Sc.*

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Outubro de 2021

## CIP - Catalogação na Publicação

AA496e      Ambrosio, João Victor Ferreira Vasconcellos de  
Estimativa econômica e mercadológica de um  
bioprocesso para produção de fermento para indústria  
cervejeira / João Victor Ferreira Vasconcellos de  
Ambrosio. -- Rio de Janeiro, 2021.  
69 f.

Orientadora: Priscilla Filomena Fonseca Amaral  
Sécca.  
Coorientador: Daniel Tinôco Campos Neto.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de  
Química, Bacharel em Engenharia Química, 2021.

1. Saccharomyces cerevisiae. 2. Estudo  
Mercadológico. 3. Avaliação Econômica. 4. Fermento  
cervejeiro. I. Sécca, Priscilla Filomena Fonseca  
Amaral, orient. II. Neto, Daniel Tinôco Campos,  
coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

Dedico este trabalho à minha família e amigos pelo apoio e suporte de sempre. Em especial, ao meu namorado e co-autor deste projeto por sua dedicação e empenho no desenvolvimento do trabalho.

*Isabela Cavalcanti Ribeiro*

Dedico este trabalho à toda minha família e amigos. Principalmente, para minha mãe Marivone e minha namorada Isabela, co-autora do presente estudo, que sempre estiveram ao meu lado me orientando.

*João Victor Ferreira Vasconcellos de Ambrosio*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo grande apoio e suporte durante minha formação profissional. À minha mãe que sempre esteve ao meu lado quando eu estava sobrecarregada e ansiosa com as provas da faculdade. Ao meu pai pelo grande incentivo aos meus estudos e durante toda a minha formação. À minha irmã por ser a base para todas as minhas conquistas e suporte emocional em todos os momentos da minha vida. Ao Celso, meu cunhado, que sempre esteve comigo e foi um grande exemplo em minha trajetória profissional.

Aos meus amigos de escola e faculdade, que sempre estiveram ao meu lado, estudando e saindo comigo, tornando minha rotina mais leve e divertida. Aos amigos Thiago Baiense, Carolina Wang, Jéssika Martins, Analú Brum, Raquel Fortes e Bruno Lima que participaram de muitos momentos complicados da faculdade e puderam compartilhar diversos dias de muita dedicação e risada também.

Aos meus amigos da Ipiranga que participaram de diversos momentos em que tive que me dividir entre o trabalho e a faculdade. Obrigada por sempre acreditarem no meu potencial e pelo incentivo ao meu crescimento profissional.

Agradeço, principalmente, ao co-autor desse estudo, João Victor, que além de ser um excelente parceiro de trabalho, foi essencial para a minha formação pessoal e profissional. Obrigada por todo o apoio em todas as matérias da faculdade, estudar ao seu lado sempre foi mais leve e fácil. Fomos uma dupla incrível do início ao fim da faculdade, do Cálculo 1 ao TCC, sempre juntos e incentivando um ao outro a sempre darmos nosso melhor. O meu sucesso é seu também!

E por fim, aos professores orientadores Daniel e Priscila, que nos receberam e orientaram com muita dedicação para conclusão de mais uma etapa rumo à nossa formação profissional.

*Isabela Cavalcanti Ribeiro*

Agradeço a toda minha família por sempre me darem todo suporte e carinho ao longo do processo. À minha mãe que sempre me orientou e serviu de base para todas minhas conquistas. Ao meu pai pelo grande exemplo de dedicação e apreço aos estudos.

Aos meus amigos, seja do colégio, da faculdade ou mesmo da vida, que ao longo de toda minha caminhada foram importantes para meu crescimento pessoal e profissional, além de terem feito meus dias mais leves e divertidos.

Agradeço aos professores que nos orientaram neste trabalho, Daniel e Priscila, por toda dedicação e suporte fundamentais para elaboração do mesmo. Agradeço também a todos os professores da Escola de Química e demais que me ensinaram ao longo da minha vida, sem eles nada seria possível.

Por fim, agradeço principalmente à co-autora deste trabalho, Isabela, minha parceira e companheira de vida. Obrigado por sempre estar ao meu lado e fazer de mim o homem mais feliz do mundo. Todo meu sucesso é, e sempre será, compartilhado ao seu lado.

*João Victor Ferreira Vasconcellos de Ambrosio*

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

## **ESTIMATIVA ECONÔMICA E MERCADOLÓGICA DE UM BIOPROCESSO PARA PRODUÇÃO DE FERMENTO PARA INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

Isabela Cavalcanti Ribeiro

João Victor Ferreira Vasconcellos de Ambrosio

Outubro, 2021

Orientadores:

Prof. Priscilla Filomena F. Amaral, *D.Sc.*

Prof. Daniel Tinôco Campos Neto, *M.Sc.*

*Saccharomyces cerevisiae* é uma espécie microbiana empregada em diversos processos fermentativos, sendo largamente utilizada na indústria cervejeira como fermento biológico. Atualmente, há poucas fabricantes nacionais de leveduras para cervejaria, sendo duas de maior abrangência comercial localizadas no Sul do país: *Bio4* e *Levteck Tecnologia Viva*. Diante disso, é notória a necessidade de se investir no desenvolvimento do mercado nacional de fermento cervejeiro, de maneira a diminuir a dependência do setor aos interesses estrangeiros. Este trabalho teve como objetivo caracterizar o cenário da indústria cervejeira, com destaque à produção de *S. cerevisiae*, a partir do estudo de mercado e de uma estimativa econômica inicial, usados para se avaliar a instalação de uma planta industrial brasileira. O estudo mercadológico indicou que há uma grande demanda de fermento no Brasil, resultando em 44 toneladas anuais para leveduras de cervejas tipo *Ale*. Considerando que 10% dessa demanda seria suprida pela planta projetada, foram avaliados dois cenários com diferentes abordagens para estratégia de alimentação do substrato para a operação por batelada alimentada dessa planta industrial. A partir dos cenários analisados, foi possível calcular a massa total de matérias-primas consumidas e de produto final gerado. Baseando-se nos preços obtidos para cada um dos insumos, estimou-se o valor econômico de margem bruta, com base na diferença entre a receita de vendas e o custo das matérias-primas. A margem bruta de ambos os cenários foi positiva, o que revelou que o projeto de uma planta industrial de produção de fermento cervejeiro é econômica e produtivamente promissor.

# ÍNDICE

<b>Capítulo I - Introdução</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo II - Objetivos</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo III – Revisão Bibliográfica</b>	<b>4</b>
<b>III.1 Cerveja</b>	4
<b>III.1.1 Definição e classificação</b>	4
<b>III.1.2 Processo de fabricação</b>	5
<b>III.1.3 Mercado brasileiro de cerveja</b>	6
<b>III.2 Fermento biológico - leveduras de cervejas</b>	10
<b>III.2.1 <i>Saccharomyces sp.</i></b>	10
<b>III.2.2 <i>S. cerevisiae</i></b>	11
<b>III.2.3 Produção de fermento cervejeiro</b>	14
<b>III.2.4 Empresas produtoras de levedura cervejeira</b>	16
<b>III.3 Avaliação do bioprocesso</b>	19
<b>III.3.1 Análise Mercadológica</b>	19
<b>III.3.2 Projeto de Planta</b>	20
<b>III.3.3 Análise Econômica</b>	21
<b>Capítulo IV – Avaliação Mercadológica</b>	<b>23</b>
<b>IV.1 Materiais e Métodos</b>	23
<b>IV.2.2 Mercado Nacional de levedura cervejeira <i>S. cerevisiae</i></b>	25
<b>Capítulo V - Projeto de Planta</b>	<b>29</b>
<b>V.1 - Materiais e Métodos</b>	29
<b>V.1.1 – Dimensionamento da produção</b>	29
<b>V.1.2 – Escalonamento do bioprocesso</b>	31
<b>V.1.3 – Aumento da produção de células</b>	34
<b>V.2 - Resultados</b>	36
<b>V.2.1 – Resultados para o cenário 1</b>	37
<b>V.2.2 – Resultados para o cenário 2</b>	46
<b>Capítulo VI - Análise Econômica Preliminar</b>	<b>54</b>
<b>VI.1 - Materiais e Métodos</b>	54
<b>VI.2 – Resultados</b>	55
<b>VI.2.1 – Margem bruta do cenário 1</b>	57
<b>VI.2.2 – Margem bruta do cenário 2</b>	58
<b>VI.3 – Discussão</b>	60
<b>Capítulo VII – Conclusões e trabalhos futuros</b>	<b>61</b>
<b>Capítulo VIII - Referências Bibliográficas</b>	<b>62</b>

## Capítulo I - Introdução

*Saccharomyces cerevisiae* é uma espécie microbiana amplamente empregada em diversos processos fermentativos devido à algumas características que permitem uma grande eficiência em processos fermentativos e bioprocessos, como: elevada tolerância ao etanol e à temperatura; resistência às concentrações de açúcares elevadas e capacidade de produzir componentes aromáticos às bebidas (HORST; SALLES, 2015).

Em especial, essa levedura é largamente utilizada na indústria cervejeira como fermento biológico (BARROS, 2018). Embora o Brasil seja um dos maiores consumidores de cerveja do mundo, o mercado de fermento cervejeiro é atendido em grande parte por produtos importados (FLANDERS, 2020). Atualmente, existem poucas fabricantes nacionais de leveduras para cerveja, sendo duas de maior abrangência comercial, localizadas no Sul do país: *Bio4* e *Levteck Tecnologia Viva* (FAPESC, 2015).

A principal cerveja produzida por *S. cerevisiae* é a do tipo *Ale*, responsável por cerca de 0,7% da quantia total de vendas de cerveja no Brasil (JUNIOR; ALVES, 2016). Nesse cenário, existe um grande potencial para a produção de fermento cervejeiro brasileiro, visto que a demanda por cerveja vem crescendo de forma sólida nos últimos anos (MAPA, 2021).

As cervejas do tipo *Ale* são classificadas como de alta fermentação, e são fermentadas em temperaturas mais altas. Geralmente, cervejas do tipo *Ale* contém aromas e sabores mais fortes (BARROS, 2018; JUNIOR, 2016). Já as cervejas de baixa fermentação, do tipo *Lager*, são fermentadas em temperaturas mais baixas, o que confere sabores e aromas mais suaves à cerveja.

O fermento cervejeiro é uma matéria prima de grande importância na produção de cerveja pois suas características e linhagens específicas conferem diferenças sensoriais, como sabor, aroma e acabamento (FERMENTIS, 2021). O custo da levedura para a produção de cerveja pode chegar a 20% da produção, utilizando uma base de cálculo de uma receita de cerveja artesanal com o fermento: Fermento *Fermentis S-04* (WE CONSULTORIA, [ca. 2021]).

Atualmente, a maior parte das fabricantes nacionais de fermentos cervejeiros no Brasil ainda visa atender ao mercado de microcervejarias e cervejarias caseiras. Enquanto o mercado

internacional possui alta escala e atende a maior parte da demanda nacional (FLANDERS, 2020).

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a possibilidade de implementação de uma nova planta industrial de produção de biomassa de *S. cerevisiae* com capacidade de suprir 10% da demanda nacional desta levedura para a produção de cerveja tipo *Ale*. Para isso, o estudo foi baseado em três abordagens: econômica, mercadológica e operacional.

Na abordagem econômica, as principais vantagens financeiras da implementação de uma planta industrial foram indicadas a partir da determinação da margem bruta (MB) do bioprocessos. A MB é a primeira avaliação do potencial econômico de um processo, sendo definida como o resultado da receita (multiplicação do preço do produto e a quantidade vendida) subtraída dos custos dos insumos e matérias-primas (PERLINGEIRO, 2015).

A análise mercadológica é fundamental para a identificação do ambiente competitivo de qualquer segmento industrial. Por meio do estudo de mercado, é possível identificar os principais fatores que influenciam um determinado processo de produção, além do balanço entre a oferta e demanda de um produto (BORGES, 2015).

Por fim, na abordagem operacional o processo de produção é o enfoque. Com base em informações de cinética e bioquímica do processo, é feito o projeto de planta. Além da busca de aprimoramento, a abordagem operacional é importante pois serve de base para a avaliação econômica.

## **Capítulo II - Objetivos**

### **II.1 Objetivo Geral**

O presente estudo teve como objetivo realizar uma estimativa econômica e mercadológica preliminares para a produção de fermento cervejeiro nacional, capaz de auxiliar na tomada de decisão para a instalação de uma planta industrial brasileira de produção de biomassa de *S. cerevisiae*.

### **II.2 Objetivos Específicos**

- Mapear a oferta e a demanda da cerveja tipo *Ale*, que é produzida com a levedura *S. cerevisiae* como agente biológico;
- Projetar uma planta industrial de produção de biomassa de *S. cerevisiae* com base nas informações coletadas no estudo mercadológico realizado, além de simular uma produção em batelada alimentada, para aumentar a eficiência do bioprocessos;
- Realizar o levantamento de informações econômicas, como preços das matérias-primas e do fermento cervejeiro, para cálculo da margem bruta do bioprocessos e consequente avaliação inicial do potencial de implementação da planta industrial proposta.

## Capítulo III – Revisão Bibliográfica

### III.1 Cerveja

#### III.1.1 Definição e classificação

A cerveja é uma das bebidas mais antigas no mundo e a segunda bebida alcoólica mais consumida no mundo (34,3%) (OMS, 2018). Ela é tida como a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira e do mosto de cevada, com adição de lúpulo (BRASIL, 2009).

Além dessa definição, a cerveja pode ser descrita como uma bebida carbonatada, preparada a partir de malte de cevada, lúpulo, fermento e água, possibilitando o uso de outras matérias-primas a base de carboidratos como arroz, milho e trigo (BARROS, 2018).

Atualmente, a cerveja é uma das bebidas mais consumidas no mundo, o que impulsiona os fabricantes a buscarem diferentes características sensoriais que se adequem a todos os tipos de consumidor. Estima-se que existe uma variedade de mais de 20 mil tipos de cervejas no mundo, com diferentes sabores e aromas. Essas características podem ser obtidas da adição de frutas, ervas, especiarias, temperos, grãos, vegetais e amêndoas. Além disso, a diversificação das cervejas pode ser conseguida a partir de diferentes condições do processo produtivo, como temperatura e tempo das etapas de maturação e fermentação (JUNIOR; ALVES, 2016).

Dentre as várias classificações possíveis para a cerveja, uma das mais comuns é com relação ao tipo de fermentação. Em relação ao tipo de fermentação, tem-se: de baixa fermentação (*Lager*) e de alta fermentação (*Ale*). Cervejas do tipo *Lager* são fermentadas a temperaturas entre 7 e 15 °C (ARAÚJO et al., 2003), o que confere sabores e aromas mais suaves e leves à cerveja (HARDWICK, 1994). Atualmente, a cerveja *Lager* é mais popular, sendo produzida em maior quantidade no mundo. Dentre os estilos mais conhecidos estão: *Pilsener* ou *Pilsen*, *Vienna*, *Dortmund*, *Bock*, *Export* e *Munich*, cujos nomes fazem referência às cidades onde foram desenvolvidas suas fórmulas (JUNIOR; ALVES, 2016).

As cervejas do tipo *Ale* são fermentadas a temperaturas mais altas, entre 18 e 22 °C. Essa condição confere a *Ale* sabor forte, com teor alcoólico entre 4 e 8%, e coloração clara, avermelhada ou escura (BARROS, 2018; JUNIOR, 2016). Existem algumas subdivisões na

classificação das cervejas *Ale*, como: amargas, meio amargas, claras, escuras, dentre outras (KINDERSLEY apud. JUNIOR, 2016).

### **III.1.2 Processo de fabricação**

Apesar de existirem diversas variações de aromas e sabores de cervejas, todas seguem basicamente o mesmo processo de fabricação (FONTOURA et al., 2019). Nesse cenário, a produção da cerveja é dividida em várias etapas, sendo: moagem do malte, mosturação, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase (BARTH, 2013).

As etapas de moagem do malte e mosturação consistem na transformação do amido presente nos cereais em moléculas de menor massa molar, como mono e dissacarídeos. Essa é a etapa em que as enzimas presentes na matéria-prima ou enzimas comerciais atuam através de um controle da temperatura em diversos valores e tempos para a formação do mosto de fermentação. Após a moagem e mosturação, há a clarificação, responsável pela lavagem do mosto, o que incrementa a extração de açúcares (BOTELHO, 2009).

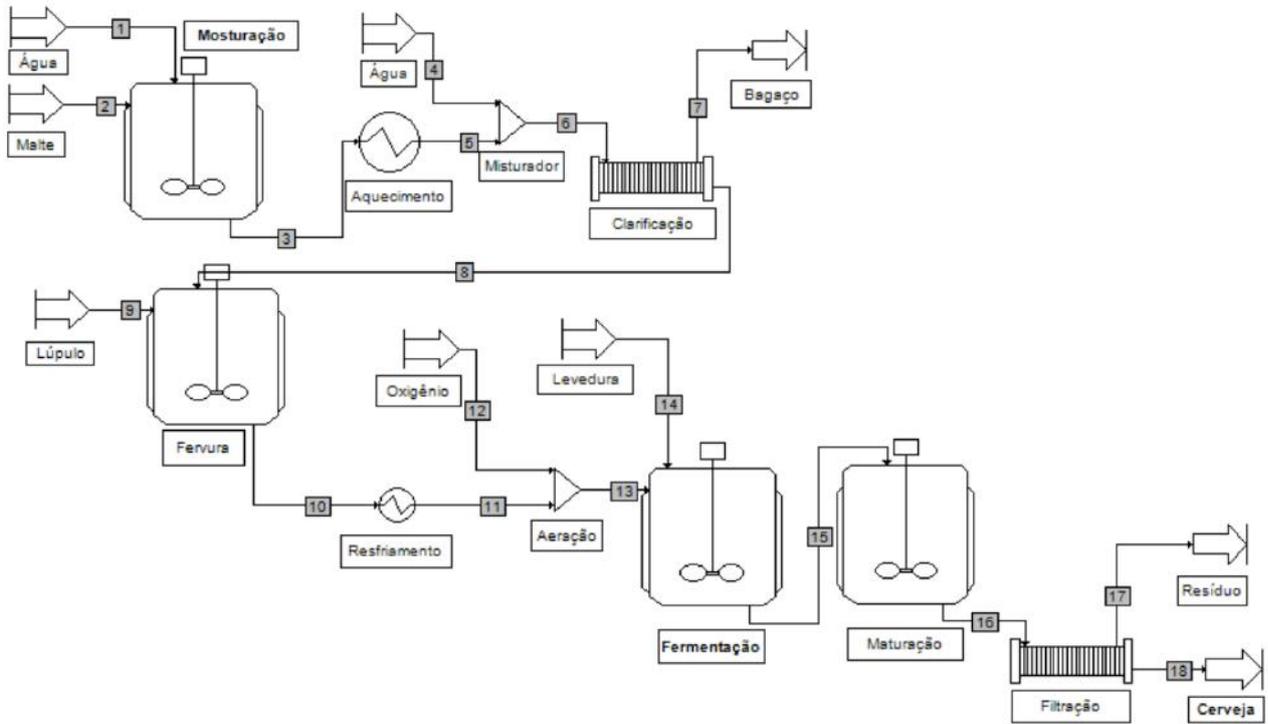
A etapa de fervura, responsável pela esterilização do mosto, ocorre em conjunto com a lupulagem, que confere o amargor e aroma da cerveja (FONTOURA et al., 2019). Após a fervura, ocorre o resfriamento, para que o mosto seja fermentado à temperatura adequada.

Na fermentação é a etapa em que a levedura atua no processo de produção da cerveja. Nela tem-se 3 estágios principais: *lag*, crescimento e estacionária. Na fase *lag*, as leveduras consomem componentes do mosto, como oxigênio e nitrogênio, porém não ocorre grandes consumos de carboidratos. Na fase de crescimento, tem-se as leveduras consumindo carboidratos, como glicose, frutose e maltose para reprodução e produção de etanol e CO<sub>2</sub>. Por fim, tem-se a fase estacionária, na qual há um equilíbrio entre crescimento e morte celular e ocorre a floculação e sedimentação das leveduras (COSTA, 2019).

Na etapa de maturação, que promove a sedimentação de partículas suspensas, ocorrem mudanças sutis, através do consumo do carbono residual, que aprimoram o sabor da cerveja (ROSA; AFONSO, 2015). Ocorre ainda a filtração, para remoção de partículas em suspensão tais como proteínas, a própria levedura e outras substâncias (FONTOURA et al., 2019).

Por fim, após a filtração, ocorre o envase da cerveja. A Figura III.1 exemplifica o processo de produção da cerveja.

**Figura III.1** - Fluxograma de produção de cerveja



**Fonte:** FONTOURA et al. (2019).

O processo produtivo de cerveja apresenta certa complexidade bioquímica. No entanto, uma gama de possibilidades para inovação e criação de novos produtos é verificada (PROSIMPLUS, 2019). Nesse sentido, novas formulações e simulações são cada vez mais investigadas, principalmente aquelas que visam à redução de custos, a melhoria do processo e geração de produtos diferenciados e competitivos (FONTOURA et al., 2019).

Portanto, o mercado de indústrias focadas na produção de leveduras cervejeiras tem crescido, especialmente devido à possibilidade de diferenciação na produção de cerveja e o crescente número de cervejarias no mundo (OLIVEIRA, 2019).

### **III.1.3 Mercado brasileiro de cerveja**

O setor cervejeiro possui alta capilaridade no Brasil. Em todos os Estados, está presente pelo menos alguma etapa da cadeia de produção de cerveja: agronegócio, etapa fermentativa, fabricação de embalagens e logística (JUNIOR; ALVES, 2016). É uma indústria extremamente

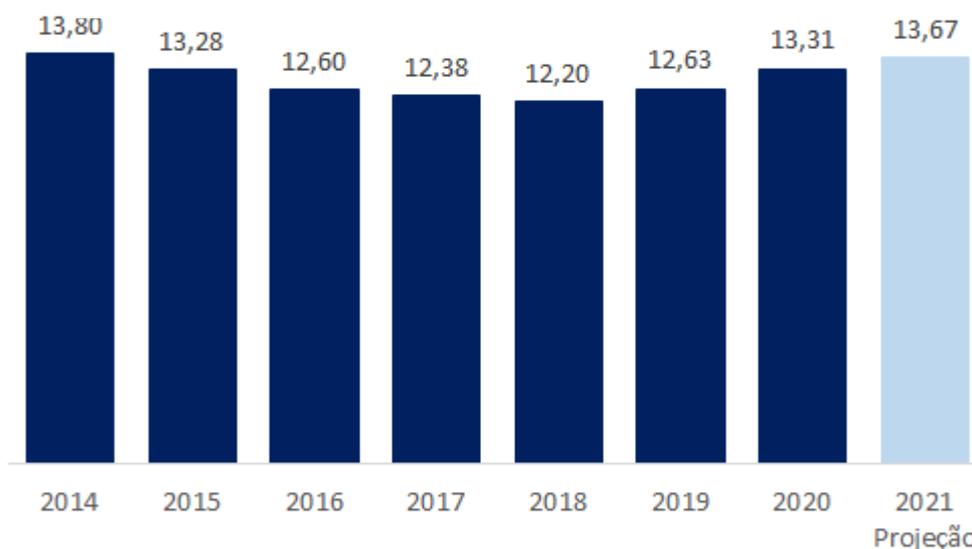
relevante para a economia brasileira, representando cerca de 1,6% do PIB do país e R\$ 107 bilhões de faturamento anual (CERVBRASIL, 2016). Além disso, é um mercado que emprega aproximadamente 2,7 milhões de pessoas ao longo da cadeia produtiva (CERVBRASIL, 2016).

Desde 2008, a produção global de cerveja cresceu cerca de 5%, enquanto o Brasil teve um crescimento à uma taxa de aproximadamente 36%. Esse fato fez com que em 2018 o país fosse o terceiro país com maior volume de consumo de cerveja no mundo, atrás apenas da China e dos Estados Unidos (FLANDERS, 2020).

O crescimento do consumo de cerveja no Brasil tem impulsionado a importação de insumos para a produção de cerveja, como o lúpulo, levedura, malte e maquinaria. A importação de malte aumentou cerca de 30%, passando de U\$403 milhões em 2018 para U\$ 539 milhões em 2019 (FLANDERS, 2020).

Além disso, o consumo de cervejas no Brasil tem apresentado solidez no mercado, caracterizado por uma estabilidade nas vendas, com cerca de 12,2-13,8 bilhões de litros vendidos anualmente (Figura III.2) (EUROMONITOR apud. G1, 2021). Esses dados demonstram a força e a resiliência do setor cervejeiro frente a adversidades, especialmente crises econômico-sociais, como a vivida desde o final de 2019, com a pandemia do novo coronavírus.

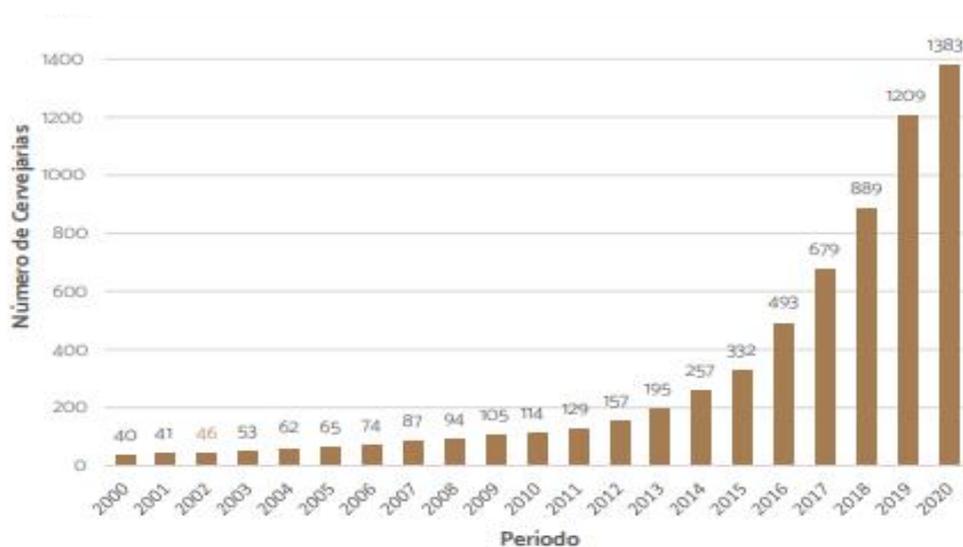
**Figura III.2** - Volume de vendas de cerveja no Brasil, em bilhões de litros



**Fonte:** Adaptado de EUROMONITOR (2021).

A demanda por cervejas artesanais também tem impulsionado o setor cervejeiro nacional, como observado pelo aumento do número de cervejarias no país nos últimos anos. Um crescimento exponencial pode ser observado, com início nos anos 2000, conforme apresentado na Figura III.3.

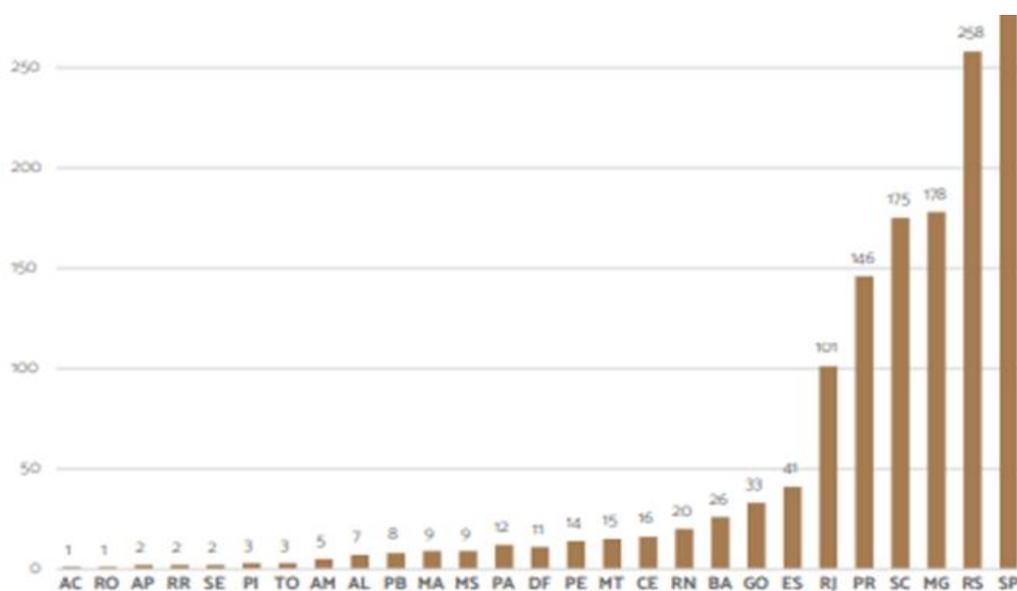
**Figura VI.3** - Número de cervejarias por ano



**Fonte:** MAPA (2021).

O aumento no número de cervejarias tem sido mais expressivo no eixo Sul-Sudeste, com destaque aos Estados de São Paulo, Rio Grande do Sul e Minas Gerais (Figura III.4). Somente em 2020, cerca de 85,6% das cervejarias brasileiras estavam concentradas nos Estados dessas duas regiões (MAPA, 2021).

**Figura III.4** - Número de Cervejarias de acordo com sua UF, em 2020.



**Fonte:** MAPA (2021).

Considerando a distribuição por município, essa concentração na região Sul-Sudeste é ainda mais evidente, como observado na Figura III.5.

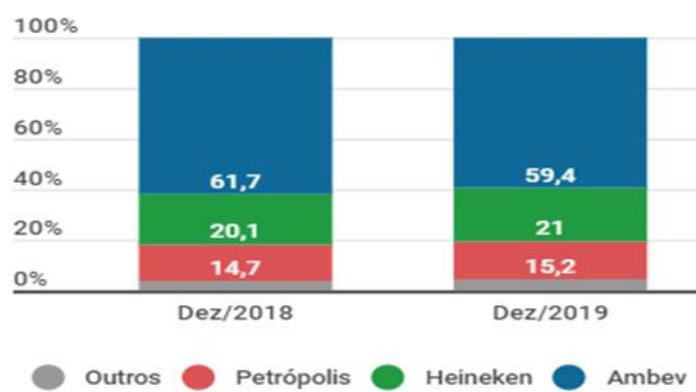
**Figura III.5** - Distribuição das cervejarias ao longo do território nacional, em 2020.



**Fonte:** MAPA (2021).

Apesar do aumento no número de cervejarias, o mercado nacional cervejeiro ainda é bastante monopolizado em termos de venda. Poucas empresas são responsáveis pela maior parte do comércio cervejeiro, estando as vendas sob domínio de três grandes companhias: Ambev, Heineken e Petrópolis (Figura III.6). Juntas, essas três empresas responderam por cerca de 95,6% do volume total de vendas de cerveja no país somente em 2019. Essa configuração pode ser considerada um oligopólio, que indica uma situação de mercado na qual poucas empresas possuem o domínio da maior fatia do mercado (VALOR ECONÔMICO, 2020).

**Figura III.6** - Participação no mercado cervejeiro, em volume de vendas.



Fonte: VALOR ECONÔMICO (2020).

## III.2 Fermento biológico - leveduras de cervejas

### III.2.1 *Saccharomyces sp.*

O gênero *Saccharomyces* possui linhagens que são comumente utilizadas na indústria biotecnológica, com destaque para o mercado dos processos fermentativos, como produção de vinho, cerveja e pão. De modo geral, esse gênero é dividido em dois grupos: *sensu lato*, sem atividade fermentativa; e *sensu stricto*, com atividade fermentativa (WALKER, 1998).

Os micro-organismos de interesse pertencem, portanto, ao grupo *sensu stricto*, formado basicamente por duas linhagens: *Lager* (baixa fermentação) e *Ale* (alta fermentação). Essas leveduras apresentam características morfológicas e fisiológicas bastante semelhantes, o que requer o emprego de técnicas de biologia molecular para a sua correta diferenciação e identificação (DANTAS, 2010).

As principais espécies de leveduras de aplicação biotecnológica, pertencentes ao grupo *sensu stricto*, são: *S. cerevisiae*, *S. bayanus*, *S. uvarum*, *S. pastorianus*, *S. carlsbergensis*, *S.*

*monacensis* e *S. boulardii*. Cada uma dessas leveduras é empregada em um tipo específico de bioprocessos, o que resulta em diferentes produtos, como pães, cervejas, vinhos e suplementos alimentares (DANTAS, 2010).

As cervejas do tipo *Lager* apresentam como principal micro-organismo as leveduras da espécie *S. pastorianus*, que se caracterizam por fermentar os açúcares da cevada maltada a baixas temperaturas, permanecendo próximas ao fundo do tanque de fermentação antes da etapa de decantação (OLIVEIRA, 2019). Já as cervejas do tipo *Ale* são obtidas a partir da fermentação de *S. cerevisiae*, a temperaturas mais elevadas, sendo encontradas no topo do tanque fermentativo (BARROS, 2018).

O mercado de produção de leveduras para cervejas possui o desafio de propagar dezenas de cepas distintas morfológica e fisiologicamente. Isso porque há uma grande dificuldade para se obter altas quantidades de células do tipo *Lager* e *Ale*, se comparadas a outras leveduras cervejeiras. Dessa forma, tem-se buscado, cada vez mais, pesquisar formas de otimizar a produção de leveduras de diferentes linhagens e características bioquímicas (OLIVEIRA, 2019).

### **III.2.2 *S. cerevisiae***

#### **III.2.2.1 Características e aplicações**

*S. cerevisiae* é uma levedura ascomicética gemulante típica. Portanto, sua reprodução ocorre por meio da formação de brotos, em que uma célula-mãe é capaz de gerar duas células-filhas. Estima-se que cerca de 17 bilhões de células podem ser geradas dentro de três dias a partir de uma única célula de origem (REIS, 2009). A facilidade e alta velocidade de crescimento de *S. cerevisiae* podem ser justificadas pela existência de células haplóides em seu ciclo de vida, bem como o seu pequeno genoma (DANTAS, 2010). Assim, seu uso como fermento biológico apresenta grande potencial produtivo e econômico.

*S. cerevisiae* é amplamente empregado em diversos bioprocessos, como o processo de produção de bioetanol, o processo de panificação e o processo de produção de cervejas tipo *Ale* (REIS, 2009). Sua versatilidade se deve a algumas características, com destaque à: tolerância ao etanol e à temperatura; resistência às concentrações de açúcares elevadas; habilidade de

flocular; capacidade de produzir componentes aromáticos às bebidas; e capacidade de produzir metabólitos anti-contaminantes, denominados *killer* (HORST; SALLES, 2015).

O caráter *killer* de *S. cerevisiae* é responsável pela produção de toxinas letais em outras leveduras. Essa característica é muito importante para um fermento cervejeiro, pois essa propriedade preserva a qualidade da cerveja, inibindo possíveis contaminações (PONZZES et al., 2009).

### III.2.2.2 Metabolismo celular

Duas principais vias metabólicas são verificadas para *S. cerevisiae* a partir de carboidratos como glicose: respiração celular e fermentação (REIS, 2009). Enquanto a respiração é responsável pela geração de energia para o crescimento celular, a fermentação é usada para a produção de biomoléculas de diferentes aplicações industriais (DANTAS, 2010).

A respiração é um processo aeróbico, que ocorre em três etapas, gerando cerca de 38 moléculas de ATP (adenosina tri-fosfato): glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória (LIEVENSE, 1984).

Na glicólise, a glicose é oxidada formando 2 moléculas de ácido pirúvico, 4 de ATPs e 4 H<sup>+</sup>, sendo utilizadas 2 moléculas de ATPs e 2 H<sup>+</sup> capturados por NAD<sup>+</sup>, formando o NADH. Assim, o saldo proveniente da glicólise é de 2 moléculas de piruvato, 2 ATPs, 2 NADH e 2 H<sup>+</sup>. O ácido pirúvico resultante da glicólise é utilizado para fermentação na ausência de oxigênio ou em altas concentrações de glicose, na presença de oxigênio e em concentrações menores de glicose, é utilizado para a respiração celular (MOREIRA, 2013).

*S. cerevisiae* pode fermentar glicose a etanol sob condições anaeróbicas, em situações em que esta é a única fonte de energia. Em condições aeróbicas, tem-se preferencialmente a respiração, no entanto, sob repressão catabólica, ou seja, quando há elevada concentração de glicídios simples, como a glicose, essa levedura tem o metabolismo fermentativo como via principal mesmo em aerobiose (NEVES, 2006).

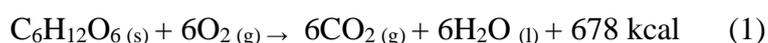
Dessa forma, *S. cerevisiae*, em presença de glicose mesmo em condições aeróbicas tem um metabolismo do tipo respiro-fermentativo. Esse metabolismo ocorre devido ao efeito

chamado de efeito *Crabtree* ou repressão catabólica. Esse efeito ocorre em condições em que há altas concentrações de glicose, ultrapassando um valor limite. O *Crabtree* pode ocorrer devido ao forte efeito repressivo da glicose sobre a atividade de enzimas respiratórias e pela inibição da expressão genética de enzimas da cadeia respiratória, fazendo com que parte do piruvato não possa ser oxidado pelo ciclo de Krebs, reduzindo a etanol por fermentação. No entanto, em baixas concentrações de glicose, há outro efeito que também direciona o metabolismo para o processo fermentativo, o efeito Pasteur. Nele tem-se que sob condições anaeróbias, a glicólise acontece de forma mais rápida do que sobre condições aeróbias, deslocando o metabolismo para a via fermentativa (CARVALHO et al., 2007)

No ciclo Krebs tem-se as reações que promovem a oxidação completa da glicose, em 8 etapas, sendo que cada uma é catalisada por uma enzima específica. Cada molécula de glicose gera duas moléculas de piruvato, que formam 2 moléculas de acetil-CoA, dando origem a “dois ciclos de Krebs”. Para cada molécula de glicose no ciclo de Krebs tem-se a formação de 6 moléculas de NADH, 2 de FADH<sub>2</sub>, 2 de ATP e 4 de CO<sub>2</sub> (DANTAS, 2010).

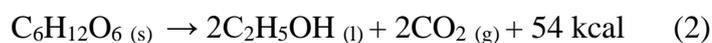
Na cadeia respiratória, as moléculas de NADH e FADH<sub>2</sub> resultantes do ciclo de Krebs são oxidadas nas reações finais da respiração celular, e os elétrons e prótons são captados pelo oxigênio, formando água e gerando ATP (MOREIRA, 2013).

Por fim, a respiração celular é representada pela equação química dada pela Equação III.1.



O crescimento microbiano de *S. cerevisiae* é resultante do processo respiratório, sendo dependente de diversas variáveis como: temperatura, pH, características físico-químicas do meio (viscosidade), suplementação nutricional (fontes de carbono e nitrogênio) e presença de oxigênio dissolvido (REIS, 2009).

Por sua vez, a fermentação é caracterizada pela conversão da glicose a etanol e dióxido de carbono, conforme representado pela Equação 2. A glicose age como reagente e as enzimas do metabolismo celular atuam na sua degradação, liberando energia. Para cada molécula de glicose degradada ocorre a liberação de 2 moléculas de ATP (LIEVENSE, 1984).



A produção de etanol é bastante aplicada na indústria de alimentos, especialmente nos processos de fabricação de bebidas alcoólicas (REIS, 2009).

### **III.2.3 Produção de fermento cervejeiro**

#### **III.2.3.1 Modos de operação do bioprocesso**

A crescente demanda por cerveja vem impulsionando o mercado de leveduras cervejeiras, que devem gerar fermentações completas e produzir produtos de qualidade e diferenciação em tempos reduzidos. De maneira geral, a produção industrial dessas leveduras pode ser realizada, com elevada eficiência, por batelada alimentada e regime contínuo (OLIVEIRA, 2019).

Na batelada alimentada, substratos necessários ao crescimento celular e formação de produtos são adicionados em uma ou mais alimentações durante a operação do biorreator. O meio fermentado é retirado apenas no final da operação, assim como na batelada simples, e o volume do cultivo aumenta ao longo do processo, caracterizando um processo dinâmico (DORAN, 2012; YAMANE, 1994). Uma das principais formas de se melhorar a eficiência da produção em batelada alimentada é por meio da otimização da composição do meio de cultivo (BORZANI, et al, 2001).

A batelada alimentada, é muito utilizada, pois permite grande controle da velocidade da alimentação de meio, diminuindo possibilidades de repressões catabólicas por meio de elevadas concentrações de glicose (NEVES, 2006).

No processo contínuo, os substratos para o crescimento e geração de produtos são alimentados de forma constante, enquanto a corrente de saída contendo células e produtos são retirados na mesma vazão. Nesse cenário, o estado estacionário pode se estabelecer por meio da manutenção de uma vazão constante. Dessa forma, o volume do cultivo, as concentrações dos substratos e células dentro do biorreator também permanecem constantes (OLIVEIRA, 2019).

#### **III.2.3.2 Produção de *S. cerevisiae* em larga escala**

Há anos, a produção de leveduras era feita nas próprias cervejarias. Porém, o avanço do mercado cervejeiro fomentou a busca por novas cepas e fez com que surgissem novas empresas e indústrias com foco na produção de fermentos cervejeiros (OLIVEIRA, 2019).

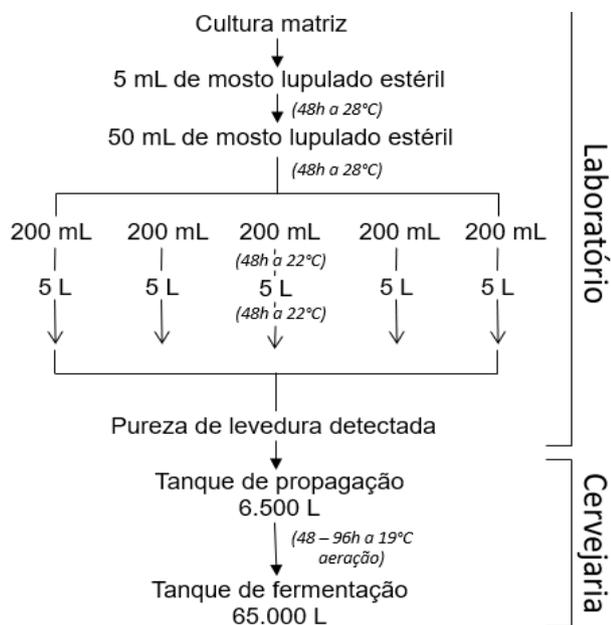
Nas cervejarias, era comum a utilização de uma parte da biomassa de levedura produzida em fermentações anteriores como inóculo. No entanto, a utilização repetidamente de leveduras pode trazer impactos negativos, como a modificação genética, a seleção de variantes e o envelhecimento celular (DIACETIS; POWELL, 2007).

Para a produção da levedura em escala laboratorial, tem-se a metodologia de escalonamento sucessivo. A partir de uma cultura matriz e 5 mL de mosto lupulado estéril a 28 °C após 48 h, inicia-se a propagação. Em seguida, utiliza-se a mesma metodologia para o inóculo de volumes maiores e temperaturas progressivamente menores (BAMFORTH, 2006).

Na etapa industrial, a levedura é utilizada para inocular elevados volumes de mosto estéril em um tanque aerado. O tempo para produzir leveduras suficientes para inocular um fermentador de 500 hL é de aproximadamente dois a três dias (BAMFORTH, 2006).

Na Figura III.7 é possível ver o diagrama de blocos de produção de leveduras dentro da cervejaria, detalhando volumes e temperaturas utilizadas frequentemente.

**Figura III.7** - Processo de produção de leveduras em cervejas.



**Fonte:** OLIVEIRA (2019).

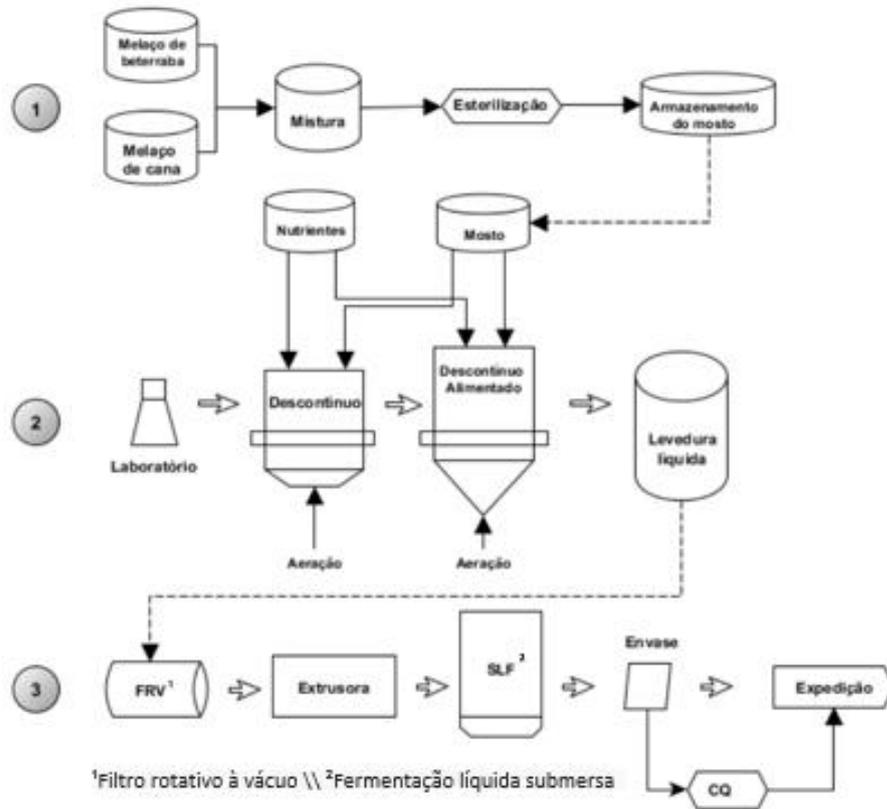
### III.2.4 Empresas produtoras de levedura cervejeira

Entre as empresas que produzem leveduras cervejeiras, a multinacional *Lallemand* vem se destacando em pesquisas e desenvolvimento para a produção e comercialização de leveduras secas para cervejas. A companhia se especializou primeiramente no processo de produção de levedura de panificação e, por isso, a produção de leveduras de cerveja na empresa é realizada de forma semelhante (OLIVEIRA, 2019).

O bioprocesso de produção de fermento biológico da *Lallemand* é baseado no uso de melão de cana-de-açúcar ou beterraba, empregados como mosto, em processos conduzidos em batelada ou bateladas alimentadas, dependendo do tipo de estirpe de levedura propagada. Em seguida, o material fermentado segue para a etapa *downstream*, em que um produto final com menos de 7% de umidade é gerado a partir da ação de extrusoras e secadores de leite fluidizado. Como resultado, menos de uma levedura selvagem por milhão de células de levedura é encontrado no meio fermentado final (OLIVEIRA, 2019).

A Figura III.8 apresenta o fluxograma de produção de leveduras cervejeiras da empresa *Lallemand*.

Figura III.8 - Processo de produção de leveduras da empresa *Lallemand*.

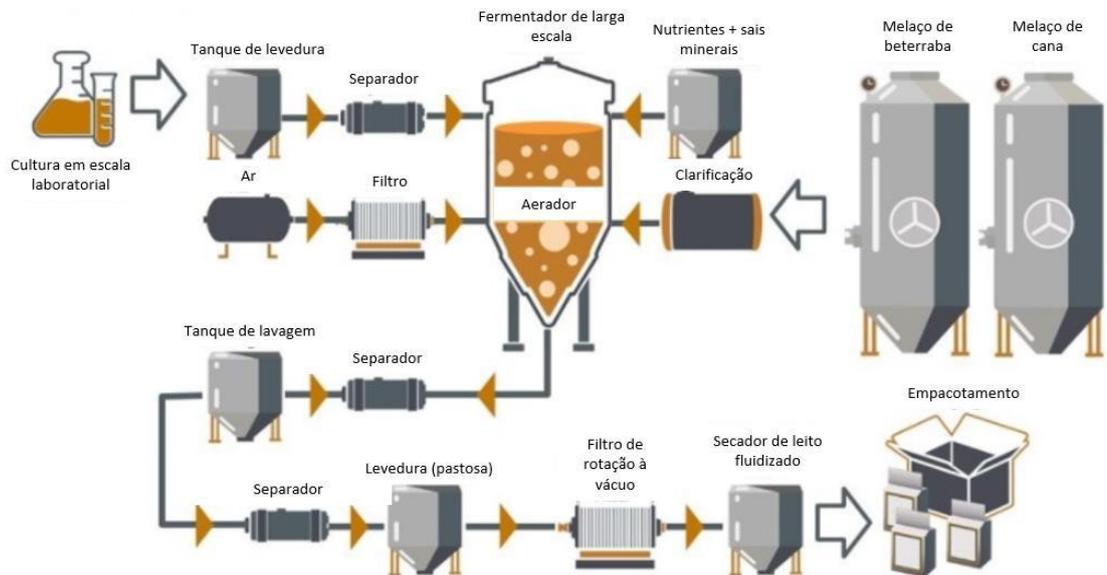


Fonte: OLIVEIRA (2019).

A produção de fermento biológico da *Fermentis* também é baseada no uso de melão de cana-de-açúcar ou beterraba, empregados como fonte de carbono. Seu processo passa por uma cultura em escala laboratorial, fermentação em larga escala e processo de *downstream* da levedura (FERMENTIS, [ca. 2021]).

A Figura III.9 apresenta o fluxograma de produção de leveduras cervejeiras da empresa *Fermentis*.

**Figura III.9** - Processo de produção de leveduras da empresa *Fermentis*.

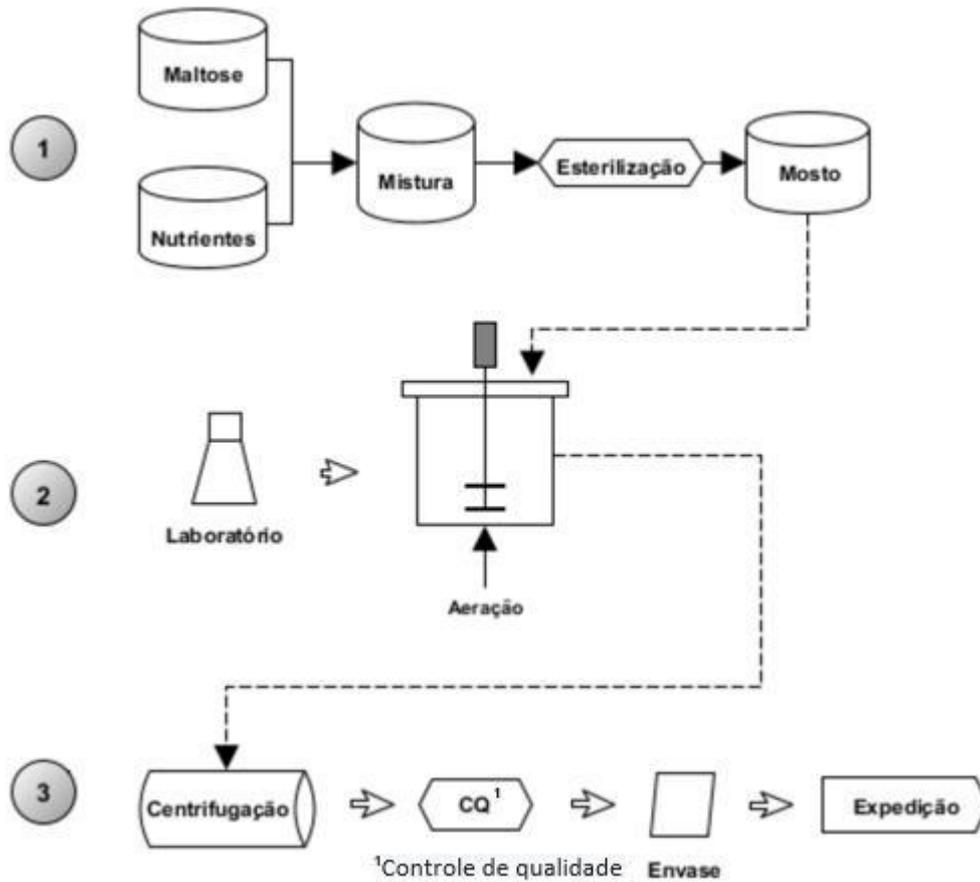


**Fonte:** Adaptado FERMENTIS, [ca. 2021].

A fabricação de leveduras cervejeiras também vem despertando interesse de empresas nacionais. A *Bio4* é uma companhia brasileira, produtora de leveduras e prestadora de serviços em processos fermentativos. Na produção de um de seus fermentos, *SuperYeast*, linhagens de leveduras utilizadas em diferentes processos e produtos são armazenadas em nitrogênio líquido a  $-176\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e em ultra-freezer a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o que garante estabilidade genética às cepas utilizadas. Meios estéreis à base de maltose são empregados no cultivo celular, cujo controle de parâmetros microbiológicos de multiplicação celular é realizado. Essa verificação tem como objetivo garantir a viabilidade e a concentração de células ideais para sua aplicação no mosto cervejeiro. Os tubos com a levedura *SuperYeast* são armazenados a temperaturas de aproximadamente  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e transportados em caixas acondicionadas com bolsas térmicas em no máximo 48h para distribuidores em todo o Brasil (BIO4, [ca. 2021]).

Na Figura III.10, o fluxograma de produção de leveduras *SuperYeast* da *Bio4* é apresentado.

**Figura III.10** - Processo de produção de leveduras da empresa *Bio4*.



Fonte: OLIVEIRA (2019).

### III.3 Avaliação do bioprocesso

#### III.3.1 Análise Mercadológica

A análise mercadológica é fundamental para a identificação do ambiente competitivo de qualquer segmento industrial. Por meio do estudo de mercado, é possível identificar os principais fatores que influenciam um determinado processo de produção, além do balanço entre a oferta e demanda de um produto (BORGES, 2015).

Além disso, um estudo de mercado é responsável por implementar a inteligência comercial nos negócios. Com isso, é possível ter maior clareza sobre as características do empreendimento, necessidades e impactos do ambiente competitivo. Nesse sentido, as informações sobre o mercado auxiliam nas tomadas de decisão por parte das empresas, diminuindo as incertezas e riscos do negócio (SEBRAE, 2019).

As empresas podem obter informações do mercado de diferentes formas, com destaque aos levantamentos de dados e características do mercado encomendados pelas próprias empresas, bem como estudos de demandas, de fornecedores, de potenciais parceiros e de principais concorrentes (ANTÔNIO; DUTRA, 2008).

### **III.3.2 Projeto de Planta**

O projeto de planta é importante para o planejamento de qualquer processo em que se vise ganhos financeiros, pois com o mesmo é possível aferir o número de equipamentos, suas dimensões, modo de operação dos equipamentos, assim como estimar o volume necessário de matérias-primas e o volume de produção.

Nesse sentido, ao se projetar um processo tecnológico, o aumento de escala é uma etapa natural visando-se melhores resultados econômicos (BORZANI et al., 2001). Isso pois o “*scale-up*”, como é denominado o aumento de escala, faz com que haja maior eficiência operacional com ganho de escala, assim como maior volume de produção que acarreta maiores receitas, entre outras vantagens. Dessa forma, o dimensionamento dos equipamentos, a extrapolação da escala de agitação e a escolha do modo de operação dos reatores são etapas a se cumprir a fim de se aumentar a escala de forma adequada.

O dimensionamento dos equipamentos tem o objetivo de indicar as dimensões dos equipamentos necessários para a planta, estabelecendo a quantidade, tamanhos e padrões de biorreatores que são requisitados para o bioprocessamento analisado.

Em um processo aeróbio, a agitação é de extrema importância para garantir que o oxigênio se encontre de forma homogênea ao longo do reator (BORZANI et al., 2001). Portanto, a extrapolação da escala de agitação é fundamental para garantir que o processo tenha o mesmo desempenho em diferentes escalas, a partir de uma escala menor. Com a mesma, há o objetivo de que o processo ocorra nas mesmas condições ambientais em maiores escalas.

Por fim, a escolha do modo de operação dos reatores é importante, já que, para cada tipo de processo tem-se vantagens e desvantagens. Além disso, com a escolha do tipo de operação é possível a simulação do processo, prevendo as quantidades de matérias-primas e produtos que serão utilizados e produzidos.

### **III.3.3 Análise Econômica**

#### **III.3.3.1 Margem Bruta**

A estimativa econômica preliminar tem como objetivo suportar a tomada de decisão no projeto e implementação de uma planta industrial. A primeira e mais básica análise econômica que pode ser realizada é o cálculo da margem bruta (MB), que permite uma avaliação inicial do potencial econômico de um determinado processo. A MB é dada pela diferença entre as receitas e as despesas de um processo produtivo (PERLINGEIRO, 2015).

Por meio do resultado da margem bruta é possível inferir se o processo possui possibilidades de viabilidade econômica. Se a MB for menor que zero, pode-se desconsiderar a viabilidade do processo, indicando que os custos com insumos e matérias-primas são maiores do que a receita arrecadada com o processo. Ao contrário, para valores de MB maiores que zero, tem-se que o processo possui potencial econômico e pode ser viável, devendo ser realizado um estudo econômico mais detalhado para comprovação desse resultado inicial (PERLINGEIRO, 2015).

#### **III.3.3.2 Matérias-Primas e Insumos**

Matérias-primas são todos os compostos ricos em carbono e utilizados para a geração do produto de interesse, sendo seu consumo proporcional ao volume de produção. Além do produto, esses compostos são usados para a geração de novas células e manutenção das atividades metabólicas endógenas microbianas. Já os insumos, são todos os compostos necessários ao processo cinético microbiano, incluindo as matérias-primas, com destaque para a água, fontes de nitrogênio, vitaminas e minerais (SILVA, 2014).

Para a fabricação do fermento cervejeiro usado na produção de cervejas tipo *Ale*, a levedura *S. cerevisiae* deve ser crescida em condições de cultivo otimizadas, a fim de se obter biomassa celular suficiente para o processo de conversão dos açúcares da cevada em etanol, na etapa de produção de cerveja. Para isso, o meio de cultura deve conter nutrientes, como fontes de carbono (glicose, por exemplo) e de nitrogênio (extrato de levedura e peptona, por exemplo), necessários à adequada viabilidade celular (MALAIRUANG et al., 2020).

Os meios de cultivo vão desde o meio de estoque celular até o meio de produção, passando pelas etapas de propagação microbiana. Para o estoque de levedura, um meio bastante utilizado

é o YPD acrescido de glicerol (15% v/v) para proteção criogênica, já que as células serão acondicionadas em pequenos tubos a -80°C. O meio YPD 2% (m/v) de glicose é composto por 10 g/L de extrato de levedura, 10 g/L de peptona e 20 g/L de glicose (MALAIRUANG et al., 2020).

## Capítulo IV – Avaliação Mercadológica

### IV.1 Materiais e Métodos

As informações sobre o mercado cervejeiro foram obtidas a partir de uma busca minuciosa e pormenorizada de relatórios mercadológicos, páginas eletrônicas de fornecedores nacionais e internacionais de insumos do processo produtivo de cerveja, reportagens, notícias e demais mídias especializadas no assunto, todas de acesso livre e disponíveis em plataformas digitais. O Quadro IV.1 apresenta as principais referências mercadológicas utilizadas no estudo.

**Quadro IV.1** – Referências mercadológicas.

<b>Relatórios mercadológicos</b>
Beer Sector in Brazil (FLANDERS, 2020)
Bebidas alcoólicas: Cerveja - Caderno Setorial (JUNIOR, 2016)
Anuário da Cerveja 2020 (MAPA,2021)
A importância do estudo de mercado (SEBRAE, 2019)
Anuário da Cerveja 2015 (CERVBRASIL, 2016)
<b>Páginas eletrônicas</b>
Fabricante de fermento nacional: LEVTECK (LEVTECK, [ca. 2021])
Fornecedor de fermentos cervejeiros: WE CONSULTORIA (WE CONSULTORIA, 2021)
Fabricante de fermento nacional: YEASTLAB (YEASTLAB, [ca. 2021])
Fabricante de fermento internacional: FERMENTIS (FERMENTIS, [ca. 2021])
Fabricante de fermento nacional: BIO4 (BIO4, [ca. 2021])
<b>Reportagens</b>
“Cariocana”: uma cerveja de “alma” carioca (INSTITUTO DE MICROBIOLOGIA - UFRJ, 2020)
Santa Catarina ganha primeiro laboratório que fabrica fermento para cerveja (FAPESC, 2015)
Principais fermentos usados para produção de cerveja caseira e estilos indicados para cada um (CERVEJA DA CASA, 2019)

**Fonte:** Elaboração própria.

As informações coletadas foram agrupadas em mercado internacional e mercado nacional de produção de fermento cervejeiro, especificamente da levedura *S. cerevisiae*.

### IV.2 Resultados e Discussão

#### IV.2.1 Mercado Internacional de levedura cervejeira *S. cerevisiae*

Diversos fermentos são produzidos internacionalmente e comercializados no Brasil. Alguns exemplos são: *SafAle US-05*, *Nottingham (Lallemand)*, *Safale S-04*, *Diamond (Lallemand)* e *SafBrew T-58* (Figura IV.1).

**Figura IV.1** - Fermento cervejeiro usado na produção de cervejas tipo *Ale*



Fonte: CERVEJA DA CASA (2019).

Cada um dos fermentos cervejeiros comercializados é constituído por uma linhagem específica de *S. cerevisiae*, responsável por diferentes características sensoriais, como sabor, aroma e acabamento de cervejas tipo *Ale*. O Quadro IV.2 apresenta as principais características sensoriais e o preço de venda dos principais tipos de fermento comercializado no mundo.

**Quadro IV.2** – Características sensoriais e o preço de venda de fermentos comerciais.

Marca comercial do fermento	Descrição do produto	Preço comercial
<i>SafAle US - 05</i>	Confere características claras e paladar final diferenciado à cerveja	R\$ 1.055,40 por Kg Fornecedor: weconsultoria (WECONSULTORIA, 2021)
<i>Nottingham (Lallemand)</i>	Produz cervejas com sabores e aromas neutros	R\$ 1.678,18 por Kg Fornecedor: weconsultoria (WECONSULTORIA, 2021)
<i>SafAle US - 04</i>	Usado para produção de cervejas que são acondicionadas em barris e para fermentação em tanques cilíndricos	R\$ 1.280,58 por Kg Fornecedor: weconsultoria (WECONSULTORIA, 2021)
<i>Diamond (Lallemand)</i>	Confere acabamento fresco e limpo à cerveja, por meio de fermentação baixa. Trata-se de uma levedura tipicamente alemã.	R\$ 1.676,82 por Kg Fornecedor: weconsultoria (WECONSULTORIA, 2021)
<i>SafBrew T-58</i>	Confere sabor apimentado e esterificado à cerveja	R\$ 1.379,76 por Kg Fornecedor: weconsultoria (WECONSULTORIA, 2021)

Fonte: Elaboração própria.

#### IV.2.2 Mercado Nacional de levedura cervejeira *S. cerevisiae*

O mercado brasileiro de produção de fermento cervejeiro é limitado. Atualmente, poucas empresas produzem fermento cervejeiro em larga escala nacional. Duas dessas empresas, localizadas no Sul do país, são as mais antigas: *Bio4* e *Levteck Tecnologia Viva* (FAPESC, 2015).

A primeira a atuar no Brasil foi a *Bio4*, fundada em 2008. A companhia conta com a parceria de diversas universidades e empresas para o desenvolvimento de pesquisa e inovação na produção de leveduras e prestação de serviços em processos fermentativos. Atualmente, a *Bio4* produz aproximadamente 40 tipos de leveduras cervejeiras e é a maior produtora de fermento para cerveja no Brasil (BIO4, [ca. 2021]).

O catálogo da *Bio4* conta com 27 linhagens de *S. cerevisiae*, além de um portfólio com bactérias e leveduras do tipo *Lager*. O Quadro IV.3 apresenta as principais características sensoriais dos diferentes tipos de fermento comercializado pela *Bio4* para produção de cerveja tipo *Ale* (BIO4, [ca. 2021]).

**Quadro IV.3** – Descrição de fermentos da *Bio4*.

Fermento comercializado pela Bio4	Descrição do produto
<i>SY027 - Vermont Ale</i>	Confere aromas frutados leves, pode ser utilizada para cervejas de alta gravidade, apresentando um corpo residual após fermentação
<i>SY028 - Juice Ale</i>	Produz aromas que remetem aos sabores tropicais, podendo apresentar um caráter cítrico. No entanto, essa levedura precisa de mais oxigenação que o convencional e mais espaço livre no fermentador
<i>SY031 – English Ale</i>	Produz uma cerveja mais clara e com sabor residual adocicado, devido à alta floculação
<i>SY032 – Irish Ale</i>	Confere aromas frutados, com sabor residual seco, indicada para produção de cervejas de alta densidade inicial

**Fonte:** BIO4 (2021).

A *Levteck Tecnologia Viva*, fundada em 2015, visa atender ao mercado de microcervejarias e cervejarias caseiras. A companhia oferece cerca de 50 tipos de leveduras, sendo 20 do tipo *Ale*. Os preços dos fermentos variam de R\$115 a R\$150 por litro. Alguns exemplos são: *TeckBrew 40 - Abbey Ale*, *TeckBrew 10 - American Ale*, *TeckBrew 07 - English Ale* e *TeckBrew 11 - Farmhouse saison* (Figura IV.2).

**Figura IV.2** – Exemplos de fermentos comerciais de *Levteck*.



**Fonte:** LEVTECK (2021).

Além disso, a empresa possui um nicho para produção de leveduras de alta qualidade para cervejas, contando com uma estrutura laboratorial que permite a realização de diversas análises microbiológicas, de qualidade e químicas. A *Levteck* também oferece serviços de armazenamento de leveduras por longos períodos e desenvolve kits para controle microbiológico de fácil manipulação, que minimizam a necessidade de infraestrutura em laboratórios de controle de qualidade em cervejarias. A empresa presta, ainda, serviços de consultoria para reuso, contagem, viabilidade e vitalidade celular de leveduras, bem como controle de qualidade laboratorial dentro de fábricas (LEVTECK, 2021).

Outra empresa que oferece leveduras cervejeiras é a *Yeastlab Biotecnologia*, criada no laboratório de Bioprocessos do Programa de Engenharia Química do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A companhia visa à produção de leveduras de alta performance e qualidade, com o foco na inovação, seja com otimização de processos ou com isolamento de novas cepas brasileiras. A empresa fornece leveduras líquidas, com um portfólio com cerca de 27 tipos de leveduras, sendo 14 do tipo *Ale* (YEASTLAB, [ca. 2021]).

Além das empresas que já produzem e vendem comercialmente fermento fabricado nacionalmente, há um projeto de fermento cervejeiro com uma espécie de *Saccharomyces* nacional: *Saccharomyces cariocas*. É um organismo promissor, que apresenta versatilidade e pode produzir vários tipos de cerveja, e que tem característica de aromas e sabores mais complexos. O projeto é fazer uma produção em escala industrial, utilizando-se dessa levedura, porém ainda necessita de parceiros. De acordo com os próprios idealizadores do projeto, o Brasil tem potencial para ter um papel mais importante na produção de fermento global, visto que é um dos grandes produtores e consumidores de cerveja do mundo (INSTITUTO DE MICROBIOLOGIA - UFRJ, 2020).

Diante da baixa presença nacional na produção de leveduras cervejeiras, a maior parte da demanda brasileira ainda é atendida pela importação do fermento. Uma das maiores produtoras de leveduras cervejeiras do mundo, a *Lesaffre*, subsidiária pela *Fermentis*, embora possua uma sede administrativa no Brasil, vende fermento cervejeiro de origem estrangeira no mercado nacional (FERMENTIS, 2021).

Para se estimar a demanda de fermento cervejeiro de *S. cerevisiae* na produção nacional de cerveja, deve-se utilizar os valores de demanda da cerveja tipo *Ale* no Brasil. As cervejas do tipo *Lager* foram responsáveis por R\$ 108,1 bilhões em vendas em 2014 (correspondendo a 99,3% do total de vendas de cerveja, cujo montante foi de R\$ 108,9 bilhões). Portanto, os demais tipos de cerveja, *Ale* e de baixo teor alcoólico/zero álcool, foram responsáveis por R\$ 0,8 bilhões em média, ou 0,7% da quantia total de vendas (JUNIOR; ALVES, 2016).

Para o presente estudo, as cervejas de baixo teor de álcool/ sem álcool foram desconsideradas na participação do mercado cervejeiro. Dessa forma, a cerveja *Ale* foi responsável por 0,7% das vendas no ano de 2014. Além disso, admitiu-se também que a participação de cerveja *Ale* na demanda total permanece constante nos últimos anos, já que os dados mais recentes usados nesta estimativa foram os correspondentes a 2014.

O volume de vendas projetado para 2021 no Brasil é de 13,67 bilhões de litros de cerveja (EUROMONITOR apud. G1, 2021). Como a venda de cerveja do tipo *Ale* representa 0,7% do total, tem-se que a demanda é de aproximadamente 95,7 milhões de litros por ano.

Segundo dados da fabricante *Fermentis*, para cada 11,5 g de *S. cerevisiae* utilizada, cerca de 20 a 30 L de cerveja *Ale* são produzidos. Assim, utilizando-se a média de 25 L de cerveja

produzido a cada 11,5 g de levedura, obtém-se 0,46 g de *S. cerevisiae* /L de cerveja produzida (FERMENTIS, 2021).

Portanto, para 95,7 milhões de litros de cerveja tipo *Ale*, a demanda de *S. cerevisiae* é de aproximadamente 44 milhões de gramas, ou 44 toneladas anuais. Para o projeto de planta, será considerada uma produção anual de 4,4 toneladas de levedura. Assim, a planta teria capacidade para suprir aproximadamente 10% da demanda nacional.

## **Capítulo V - Projeto de Planta**

### **V.1 - Materiais e Métodos**

O projeto da planta industrial de fermento cervejeiro foi dividido em três etapas: dimensionamento dos biorreatores com base na demanda de produção prevista; escalonamento do bioprocessos; e investigação da batelada alimentada para aumento da produção final.

Os parâmetros fermentativos relacionados à cinética de produção de biomassa celular (neste caso, o fermento cervejeiro de interesse) usados nas estimativas e cálculos dessa etapa do trabalho foram obtidos dos estudos de PENCHEVA et al. (2004). Dados de tempo e concentração, bem como de caracterização da batelada simples, usada tanto na propagação inicial do inóculo quanto na etapa produtiva, antes da alimentação de substrato, foram reportados dos modelos cinéticos propostos pelos autores.

A análise e simulação dos dados foi realizada com base nos estudos de engenharia de bioprocessos, conforme equacionamento apresentado a seguir.

#### **V.1.1 – Dimensionamento da produção**

Para uma planta industrial de produção de biomassa celular, é importante que haja uma sequência de biorreatores, de volumes crescentes, para que a propagação do inóculo seja feita de forma correta. Para a determinação da capacidade de cada equipamento, inicialmente foi estimado volume do biorreator final do processo. A partir do valor encontrado, o volume dos demais biorreatores foram calculados. Portanto, foi realizado um escalonamento tendo como informação final o volume de bancada (*Erlenmeyers*).

De acordo com SOARES (2014), primeiramente foi determinado o número de bateladas anuais, a fim de se estimar o volume do biorreator final do processo. Parâmetros como o número de dias e de horas de funcionamento da planta foram considerados nos cálculos. Além disso, o tempo total da batelada para a produção da biomassa celular e os tempos de carga, descarga e limpeza do biorreator foram também utilizados.

O número de bateladas foi, então, calculado conforme Equação 3:

$$B = \frac{D_f * H_f}{t_p + t_{c,d,l}} \quad (3)$$

Em que:

- $B$  é o número de bateladas anuais;
- $D_f$  é o número de dias de funcionamento da planta [d];
- $H_f$  é o número de horas de funcionamento da planta em um dia [h];
- $t_p$  é o tempo de produção [h];
- $t_{c,d,l}$  é o tempo de carga, descarga e limpeza do reator de produção [h].

Com o número de bateladas anuais, o volume anual de produção de biomassa celular foi estimado como  $V_1$  (Equação 4).

$$V_1 = \frac{M_p}{B * P} \quad (4)$$

Em que:

- $V_1$  é o volume de produção de biomassa celular [L];
- $M_p$  é a biomassa celular a ser produzida por ano [g];
- $P$  é a concentração celular na saída do bioprocessamento [g/L].

Como descrito pela equação acima, o cálculo do volume é dependente da concentração celular obtida no processo. Ao mesmo tempo, para estimar a concentração celular, o volume do biorreator é também uma variável necessária, como será visto no Capítulo V.1.3. Por conta disso, o cálculo do volume é feito de forma concomitante ao cálculo da concentração celular, através de seguidas iterações até que se chegue a valores que se relacionam corretamente.

Por medidas de segurança, o volume de trabalho ( $V_M$ ) foi definido como sendo 80% do volume do biorreator ( $V_R$ ). Essa medida visa evitar possíveis problemas relacionados a pressão ao longo do processo. Essa consideração foi aplicada em todos os volumes calculados no estudo: no volume de propagação e volume do processo produtivo (Equação 5).

$$V_M = V_R * 0,8 \quad (5)$$

Em que:

- $V_R$  é o volume do biorreator [L];
- $V_M$  é o volume de trabalho máximo (considerando-se possíveis alimentações) [L].

Na etapa de propagação, o método de escalonamento foi aplicado utilizando o princípio da similaridade geométrica. Para isso, a inoculação de 10 % (v/v) de meio contendo células foi empregada como referência em cada biorreator (Equação 6). Assim, para que uma batelada acontecesse, a quantidade de biomassa inoculada deveria ser igual a 10% do volume de trabalho daquele biorreator. Essa redução de escala foi realizada até um volume mínimo de 500 mL, corresponde ao volume de um frasco agitado usado em escala de laboratório.

$$V_x = V_{x+1} * 10\% \quad (6)$$

Em que:

- $V_x$  é o volume do biorreator de propagação do inóculo anterior [L];
- $V_{x+1}$  é o volume do biorreator posterior [L].

Uma etapa de reativação celular foi também realizada. Para isso, frascos agitados foram empregados e submetidos a condições de grande aeração e agitação do meio, alcançadas mediante um volume de trabalho de aproximadamente 40% da capacidade do frasco (Equação 7).

$$V_y = V_{R,y} * 0,4 \quad (7)$$

Em que:

- $V_{R,y}$  é o volume do frasco agitado [L];
- $V_y$  é o volume de meio para reativação celular [L].

### V.1.2 – Escalonamento do bioprocesso

O escalonamento da produção de levedura cervejeira foi realizado com base na extrapolação da escala de agitação, usando para isso o método do coeficiente volumétrico de transferência de oxigênio ( $k_{LA}$ ). Esse método é normalmente empregado em bioprocessos que

envolvem alta demanda de oxigênio, como os de produção de biomassa celular. Seu princípio básico é o da manutenção do  $k_{LA}$  nas diversas escalas a serem trabalhadas no projeto de planta (BORZANI et al., 2001).

A partir do método do  $k_{LA}$ , a velocidade de agitação (N) foi, então, estimada, conforme Equação 8.

$$N_2 = N_1 \left( \frac{Di_2}{Di_1} \right)^{\frac{2B-2,85A}{3,15A}} \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^{\frac{0,25A-B}{3,15A}} \quad (8)$$

Em que:

- $N_1$  é a velocidade de agitação no biorreator de bancada [rpm];
- $N_2$  é a velocidade de agitação no biorreator industrial [rpm];
- $Di_1$  é o diâmetro do impelidor do biorreator de bancada [m];
- $Di_2$  é o diâmetro do impelidor do biorreator industrial [m];
- A e B são coeficientes que dependem do tamanho do tanque e tipo de meio reacional;
- $Q_1$  é a vazão volumétrica de ar na bancada [ $m^3.s^{-1}$ ];
- $Q_2$  é a vazão volumétrica de ar industrial [ $m^3.s^{-1}$ ].

As dimensões (altura e diâmetro) dos biorreatores, usadas no cálculo de N, foram obtidas por relações geométricas dadas pelas Equações 9 e 10 (BORZANI et al., 2001).

$$\frac{H}{T} = 2 a 5 \quad (9)$$

$$\frac{D}{T} = 0,33 \quad (10)$$

Em que:

- $H$  é a altura do biorreator [m];
- $T$  é o diâmetro do biorreator [m];
- $D$  é o diâmetro do impelidor [m].

Pela Equação 11 do volume do biorreator, admitindo um valor para  $\frac{H}{T}$ , é possível obter o diâmetro do reator:

$$V_x = H \frac{\pi T^2}{4} \quad (11)$$

Já os valores dos coeficientes A e B foram escolhidos de acordo com o tamanho dos tanques fermentativos e do tipo de meio reacional empregado (coalescente ou não coalescente) (BORZANI et al., 2001). A coalescência é um fenômeno caracterizado pela união de dois ou mais componentes de fases distintas, resultando na formação de uma única fase. No caso da agitação, a coalescência é observada em sistemas com elevadas velocidades de agitação, o que compromete significativamente as transferências de massa de oxigênio para as células (FRANZOL; REZENDE, 2015).

O Quadro V.1 apresenta possíveis valores para os coeficientes A e B. Para volumes de reator que não se encontram no quadro, foi feita uma interpolação linear para aferir os coeficientes.

**Quadro V.1** – Parâmetros A e B para cada tipo de sistema e reator

Volume do Reator (m³)	A	B	Sistema
0,005	0,95	0,67	Não coalescente
0,5	0,6 - 0,7	0,67	Não coalescente
50	0,4 - 0,5	0,5	Não coalescente
0,002 - 2,6	0,4	0,5	Coalescente

**Fonte:** BORZANI et al. (2001).

A relação  $\left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)$  foi obtida por critérios de escala baseadas na aeração do meio fermentativo, admitindo-se uma vazão específica de ar ( $\phi_{ar}$ ) constante (Equação 12).

$$\frac{Q_1}{Di_1^3} = \frac{Q_2}{Di_2^3} \text{ ou } \frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{Di_2}{Di_1}\right)^3 \quad (12)$$

Substituindo a Equação 12 na 8, a extrapolação da escala de agitação foi determinada, conforme Equação 13.

$$N_2 = N_1 \left( \frac{Di_2}{Di_1} \right)^{\frac{2B-2,85A}{3,15A}} \left( \frac{Di_2}{Di_1} \right)^{\frac{0,75A-3B}{3,15A}} \quad (13)$$

Por fim, aplicando-se a multiplicação de potências de mesma base, a Equação 14 foi usada para estimar os valores de N do bioprocessamento.

$$N_2 = N_1 \left( \frac{Di_2}{Di_1} \right)^{\frac{-B-2,1A}{3,15A}} \quad (14)$$

### V.1.3 – Aumento da produção de células

O aumento da produção de biomassa celular foi investigado a partir da alimentação de substrato ao bioprocessamento produtivo caracterizado por uma batelada alimentada. Por meio dessa estratégia, a fase exponencial de crescimento da levedura *S. cerevisiae* foi prolongada, o que favoreceu uma maior conversão de carbono em novas células. A propagação de inóculo, conduzida em batelada simples, não recebeu alimentação adicional. Portanto, somente o biorreator principal foi operado em batelada alimentada.

A alimentação à vazão constante foi a configuração investigada neste estudo. Dois perfis podem ser observados para a cinética de crescimento celular: exponencial e limitado (BORZANI et al., 2001). A transição entre o crescimento exponencial e o crescimento limitado é determinada pelo tempo de transição, que foi calculado a partir das Equações 15 e 16.

$$(XV)_{\text{crescimento exponencial}} = (XV)_{\text{crescimento limitado}} \quad (15)$$

$$X_0 V_0 \exp(\mu_m t_T) = F S_F Y_{X/S} t_T + Y_{X/S} S_0 V_0 + X_0 V_0 \quad (16)$$

Em que:

- $X$  é a concentração de células no meio [g/L];
- $V$  é o volume [L];
- $X_0$  é a concentração inicial de células [g/L];
- $V_0$  é o volume inicial [L];
- $\mu_m$  é a taxa específica de crescimento máxima [ $\text{h}^{-1}$ ];
- $t_T$  é o tempo de transição [h];
- $F$  é a vazão de alimentação [L/h];

- $S_F$  é a concentração de substrato na alimentação [g/L];
- $Y_{X/S}$  é o fator de conversão de substrato em células [g de célula/g de substrato];
- $S_0$  é a concentração inicial de substrato [g/L].

Uma vez que o crescimento de biomassa e o consumo de substrato são diferentes nas duas fases de crescimento, o cálculo para a concentração de células e a concentração de substrato no meio fermentativo é feito de maneira distinta.

Na região de crescimento exponencial, em que o tempo é menor que o tempo de transição, há um maior crescimento de biomassa. Nessa região, a concentração de células e de substrato foram determinadas pelas Equações 17 e 18.

$$X = \frac{X_0 V_0 \exp(\mu_m t)}{V_0 + Ft} \quad (17)$$

$$S = \frac{FS_F t + S_0 V_0 + \frac{X_0 V_0 (1 - \exp(\mu_m t))}{Y_{X/S}}}{V_0 + Ft} \quad (18)$$

Em que:

- $t$  é o tempo, desde o início da batelada alimentada [h];
- $S$  é a concentração de substrato no meio [g/L].

Por sua vez, a região de crescimento limitado tem início após o tempo de transição e apresenta um crescimento de biomassa reduzido, se comparado à fase anterior. Para essa região, as concentrações de células e de substrato são descritas pelas Equações 19 e 20.

$$X = \frac{FS_F Y_{X/S} t + Y_{X/S} S_0 V_0 + X_0 V_0}{V_0 + Ft} \quad (19)$$

$$S = \frac{FS_F Y_{X/S} K_S}{FS_F Y_{X/S} (\mu_m t - 1) + (Y_{X/S} S_0 V_0 + X_0 V_0) \mu_m} \quad (20)$$

Em que:

- $K_S$  é a constante de saturação ou constante de Monod [g/L].

Como já dito anteriormente, no Capítulo V.1.1, e explicitado acima nas equações 16 a 20, o volume ( $V$ ), sob forma de  $V_0 + Ft$ , é parte integrante de todo o cálculo acerca da concentração celular. Dessa forma, seguidas iterações são necessárias para o cálculo dos parâmetros citados, onde volume e demais variáveis sejam coerentes entre si.

## V.2 - Resultados

Os resultados encontrados foram baseados em um projeto de planta industrial capaz de atender 10% da demanda nacional de fermento cervejeiro para produção de cervejas tipo *Ale*, o que corresponde a aproximadamente 4,4 toneladas de biomassa celular, conforme avaliação mercadológica realizada neste estudo.

O substrato utilizado no presente estudo é a glicose. De um ponto de vista da viabilidade operacional, a glicose é muito eficiente em se tratando de produção de biomassa, sendo facilmente metabolizada pela *S. cerevisiae*. Além disso, para o estudo teórico do aumento da produção de células, é importante que a fonte de carbono escolhida tenha seus dados, como por exemplo  $Y_{X/S}$ , referenciados na literatura, como é o caso da glicose.

Na busca por uma produção mais viável economicamente foram feitas duas simulações diferentes para a batelada alimentada. O primeiro cenário (Cenário 1) consta de uma simulação em que a concentração de glicose na alimentação é elevada, para maior produtividade da planta, de 460 g/L. Essa concentração é equivalente à solubilidade da glicose em água em temperatura ambiente (ZHANG et al., 2010), tornando-se o cenário base para o processo. Para o segundo cenário (Cenário 2), trabalhou-se com uma concentração de glicose na alimentação ainda mais elevada, de 1.000 g/L, visando um ganho de produtividade em relação ao primeiro cenário. Ao se esterilizar a corrente de alimentação, tem-se um aumento de temperatura, resultando em maiores solubilidades de glicose. Segundo Li et al., em 2007, mesmo com o resfriamento da corrente, a solução não apresenta cristalização de glicose, e é estável durante horas, tornando o cenário viável de um ponto de vista operacional.

O tempo da batelada inicial, anterior à batelada alimentada, foi definido como 8 h. Esse tempo é suficiente para que a concentração de biomassa cresça aproximadamente dez vezes (de 0,5 g/L para 5 g/L), enquanto a glicose é consumida, saindo de 30 g/L no começo da batelada até 5 g/L (PENICHEVA et al., 2004). Portanto, na batelada alimentada, a concentração inicial de glicose e de biomassa são de 5 g/L. Para ambos os cenários, fixou-se a duração da batelada

alimentada em 12 h, tempo suficiente para se aproveitar toda a fase exponencial de crescimento das células de *S. cerevisiae*. Portanto, a duração do processo no biorreator final, de produção, é de 20h.

A partir do estudo cinético de Pencheva et al., em 2004, obteve-se a concentração inicial de glicose para as bateladas simples. Por conta disso, todos os biorreatores possuem a mesma concentração de glicose inicial, de 30 g/L.

Em relação à aeração, tem-se que a mesma está relacionada com a concentração celular, pois maiores concentrações de células requerem maiores vazões de ar. Portanto, como as bateladas simples possuem mesma concentração inicial de glicose e de células, admitiu-se uma vazão específica de ar ( $\phi_{ar}$ ) constante, como já mencionado anteriormente no Capítulo V.1.2. Para tal concentração, de 30 g/L, a vazão específica de ar utilizada é de 1 vvm (volume de ar por volume de meio por minuto) (MALAIRUANG et al., 2020).

Para a iteração já comentada no Capítulo V.1.1, devido à interdependência entre as variáveis de operação, fixou-se determinados parâmetros (tempo e produção da batelada alimentada e concentração de glicose no meio reacional) visando uma solução única do sistema.

Assim, o tempo de batelada alimentada, como já mencionado, foi fixado em 12h. A produção final por batelada é resultante da equação 3, e é a mesma para todo processo. Já para a concentração de glicose no meio, estabeleceu-se que a mesma não pode ultrapassar o valor limite de 50 g/L. Isso porque, conforme dito anteriormente no Capítulo III.2.2.2., na produção de leveduras, a presença de glicose, mesmo em condições aeróbias, pode inibir a respiração. Segundo Reed & Pepler, em 1973, a partir da concentração de 5% de glicose no meio (no caso, 50 g/L), a formação de enzimas da cadeia respiratória é suprimida, e conseqüentemente, o crescimento da levedura também.

## **V.2.1 – Resultados para o cenário 1**

### **V.2.1.1 – Dimensionamento da produção**

Para o cálculo do número de bateladas anuais e do volume de meio fermentativo, as seguintes considerações foram realizadas:

- Dias de funcionamento da planta: 330 dias/ano (decréscimo de pouco mais de um mês, considerando-se possíveis paradas programadas, para manutenção e férias, por exemplo);
- Tempo de operação diário: 24 h/dia;
- Tempo total do bioprocessamento: 20 h;
- Tempo de carga, descarga e limpeza: 6 h (Adaptado de BORZANI et al., 2001).

$$B = \frac{D_f * H_f}{t_p + t_{c,d,l}} = \frac{330 * 24}{20 + 6}$$

$$B = 304,6 \text{ bateladas/ano}$$

Para atender à demanda, cerca de 305 bateladas seriam necessárias por ano.

O volume para a produção anual de biomassa celular estimada e o volume do biorreator usado no projeto de planta foram determinados com base nas seguintes considerações:

- A biomassa celular a ser produzida é de 4400 kg/ano ou  $4,4 \times 10^6$  g/ano;
- Foram consideradas 304,6 bateladas/ano;
- Da batelada alimentada para o cenário 1, a concentração de células foi de aproximadamente 41,1 g/L (segundo iteração previamente mencionada).

$$V_1 = \frac{M_p}{B * P} = \frac{4.400.000}{304,6 * 41,1}$$

$$V_1 = 351,1 \text{ L}$$

$$V_{R,1} = \frac{V_{M,1}}{0,8} = \frac{351,1}{0,8}$$

$$V_{R,1} = 438,9 \text{ L} \approx 450,0 \text{ L}$$

Então, ao final de cada batelada, foram obtidos 351,1 L de meio fermentado contendo células de *S. cerevisiae* a 41,1 g/L. Portanto, o reator para essa produção deveria ter um volume de 438,9 litros. Para fins de aproximação e coerência com equipamentos comercializados no mercado, o volume do biorreator foi considerado como 450 L.

O escalonamento resultou nos seguintes volumes para os biorreatores de propagação celular:

### Biorreator 2

$$V_2 = V_1 * 10\% = 351,1 * 10\%$$

$$V_2 = 35,1 \text{ L}$$

$$V_{R,2} = \frac{V_{M,2}}{0,8} = \frac{35,1}{0,8}$$

$$V_{R,2} = 43,9 \text{ L} \approx 50,0 \text{ L}$$

Novamente, o volume do biorreator foi aproximado, sendo igual a 50 L. Portanto, o biorreator anterior ao reator final deveria ter capacidade de 50 L para operacionalizar um montante de 35,1 L de meio fermentativo.

### Biorreator 3

$$V_3 = V_2 * 10\% = 35,1 * 10\%$$

$$V_3 = 3,5 \text{ L}$$

$$V_{R,3} = \frac{V_{M,3}}{0,8} = \frac{3,5}{0,8}$$

$$V_{R,2} = 4,4 \text{ L} \approx 5,0 \text{ L}$$

Pelo mesmo princípio anterior, optou-se por um reator de 5 L. Portanto, essa etapa da propagação deve ser realizada em um biorreator de 5 L para poder operacionalizar um montante de 3,5 L de meio fermentativo.

### Biorreator 4 (Frasco agitado)

$$V_4 = V_3 * 10\% = 3,5 * 10\%$$

$$V_4 = 0,35 \text{ L}$$

Esse volume foi suficiente para o início da reativação do inóculo frasco agitado. Logo:

$$V_{R,4} = \frac{V_{M,4}}{0,4} = \frac{0,35}{0,4}$$

$$V_{R,4} = 0,88 \text{ L} \approx 1 \text{ L}$$

Portanto, a reativação celular de *S. cerevisiae* foi iniciada em frasco de 1 L.

### V.2.1.2 – Escalonamento do bioprocesso

Os equipamentos necessários para a produção de fermento cervejeiro no cenário 1 foram:

- Um frasco agitado de 1 L;
- Um biorreator de 5 L;
- Um biorreator de 50 L;
- Um biorreator de 450 L.

Conforme apresentado por MALAIRUANG et al. (2020), os frascos agitados da etapa de reativação celular devem ser agitados a 200 rpm. Já as condições de agitação e as dimensões estimadas para os biorreatores de propagação foram dadas pelo método de  $k_L a$ .

O escalonamento foi iniciado do biorreator de 5L e a semelhança geométrica foi assegurada para os equipamentos utilizados no bioprocesso. Segundo MALAIRUANG et al. (2020), biorreatores de 5 L necessitam de uma agitação de  $N=500$  rpm para a produção de biomassa celular de levedura em altas concentrações.

Adicionalmente, foi admitido  $\frac{H}{T} = 2$

Portanto, para a extrapolação do biorreator de 5 L para um biorreator de 50 L:

#### Biorreator 5 L

- **$N_1 = 500$  rpm**
- **$T_{i_1} = 0,147$  m**
- **$Di_1 = 0,049$  m**

### Biorreator 50 L

- $Ti_2 = 0,317 \text{ m}$
- $Di_2 = 0,106 \text{ m}$

Para o biorreator de  $0,005 \text{ m}^3$ , foi obtido  $A = 0,95$  e  $B = 0,67$ . Logo:

$$N_2 = 500 \left( \frac{0,106}{0,049} \right)^{-0,891}$$

$$N_2 = 251 \text{ rpm}$$

Para a extrapolação do biorreator de 50 L para um biorreator de 450 L:

### Biorreator 50 L

- $N_1 = 251 \text{ rpm}$
- $Ti_1 = 0,317 \text{ m}$
- $Di_1 = 0,106 \text{ m}$

### Biorreator 450 L

- $Ti_2 = 0,659 \text{ m}$
- $Di_2 = 0,220 \text{ m}$

Por meio da interpolação linear para o biorreator de  $0,05 \text{ m}^3$ , foi obtido  $A = 0,92$  e  $B = 0,67$ . Logo:

$$N_2 = 251 \left( \frac{0,220}{0,106} \right)^{-0,897}$$

$$N_2 = 130 \text{ rpm}$$

### **V.2.1.3 – Simulação da produção por batelada alimentada – Cenário 1**

Para previsão da batelada alimentada no biorreator de produção  $V_{R,1}$  (450,0 L), os parâmetros cinéticos e de operação adotados foram (PENCHEVA et al., 2004):

- $\mu_m = 0,36 \text{ h}^{-1}$ ;
- $Y_{X/S} = 0,17 \text{ g/g}$ ;
- $K_S = 0,07 \text{ g/L}$

Além disso, a concentração de glicose na alimentação, como já especificada anteriormente, é de 460 g/L. A partir dos parâmetros já fixados (como tempo e produção da batelada alimentada e concentração de glicose no meio), foi possível calcular as demais variáveis operacionais através de seguidas iterações.

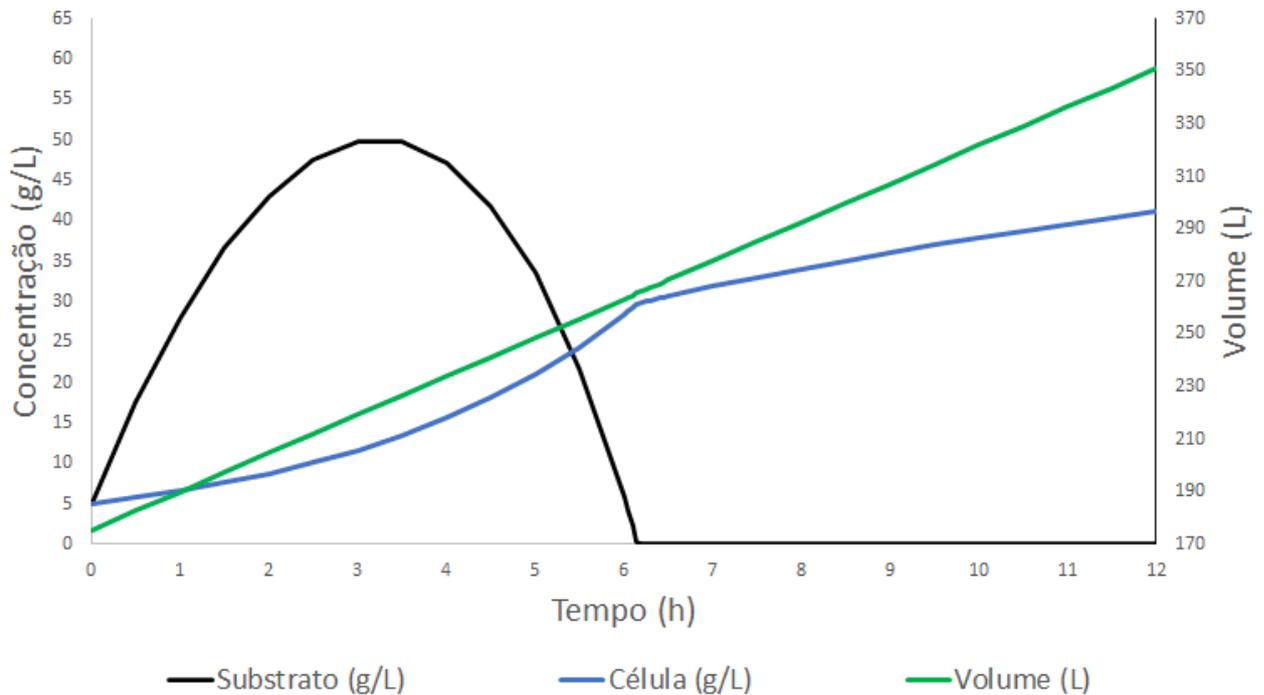
Assim, a vazão de alimentação dessa corrente de glicose foi testada, considerando as equações 16 a 20 e identificou-se que o valor de 14,6 L/h resulta em uma solução única.

O tempo de transição da batelada alimentada foi de  $t = 6,16 \text{ h}$  após o início da mesma, sendo o tempo total da batelada alimentada de 12 h.

Ao término da simulação, atingiu-se a concentração de 41,1 g/L de biomassa celular de *S. cerevisiae*, ao mesmo tempo em que o volume de meio reacional foi de 351,1 L, atingindo-se o valor previsto no dimensionamento da produção.

A Figura V.1. ilustra a simulação realizada para a variação de concentração celular, de concentração de substrato e de volume ao longo das 12 h de batelada alimentada.

**Figura V.1** – Simulação da concentração celular, concentração de substrato e volume de meio fermentativo em 12 h de batelada alimentada – cenário 1



Fonte: Elaboração própria.

Todos os parâmetros de produção e a evolução das concentrações podem ser vistos no Apêndice A.

#### V.2.1.4 – Descrição do processo de produção de fermento cervejeiro

Primeiramente, o tempo necessário para se alcançar uma quantidade de biomassa suficiente para a propagação de 10 % (v/v) de inóculo foi determinado. Partindo-se dos resultados dos estudos de PENCHEVA et al. (2004), em que para uma concentração inicial de 30 g/L de glicose em batelada simples, uma quantidade satisfatória de biomassa celular era alcançada após 7 h de batelada simples. Assim, todas as etapas de propagação foram realizadas após 7 h de batelada simples, partindo-se de 30 g/L de glicose.

A primeira etapa de produção de fermento cervejeiro foi a reativação do inóculo. Uma pequena amostra de células foi retirada de uma solução estoque de *S. cerevisiae* e inoculada em frasco agitado de 1 L ( $V_{R,4}$ ) a 200 rpm. O volume de trabalho empregado foi de 350 mL de meio YPD com 30 g/L de glicose. Analogamente ao cenário 1, a reativação do inóculo dura 18h.

Em seguida, esse volume foi transferido para um biorreator de 5 L ( $V_{R,3}$ ) e o volume completado até 3,5 L com o meio MPB. A agitação neste biorreator foi de 500 rpm e a aeração

de 1 vvm. O meio MPB é simples, barato quando comparado com meios de produção convencionais e de grande potencial de aplicação na indústria, sendo composto por: 2.2 g/L  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 1.5 g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 1.8 g/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 0.2 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , além de 1 mL/L de solução contendo 10.0 g/L  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 6.0 g/L  $(\text{NH}_4)_5[\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_7)_2]$ , 0.2 g/L  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.3 g/L  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0.1 g/L  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.03 g/L  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0.03 g/L  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0.02 g/L  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , e 0.01 g/L  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (MALAIRUANG et al., 2020).

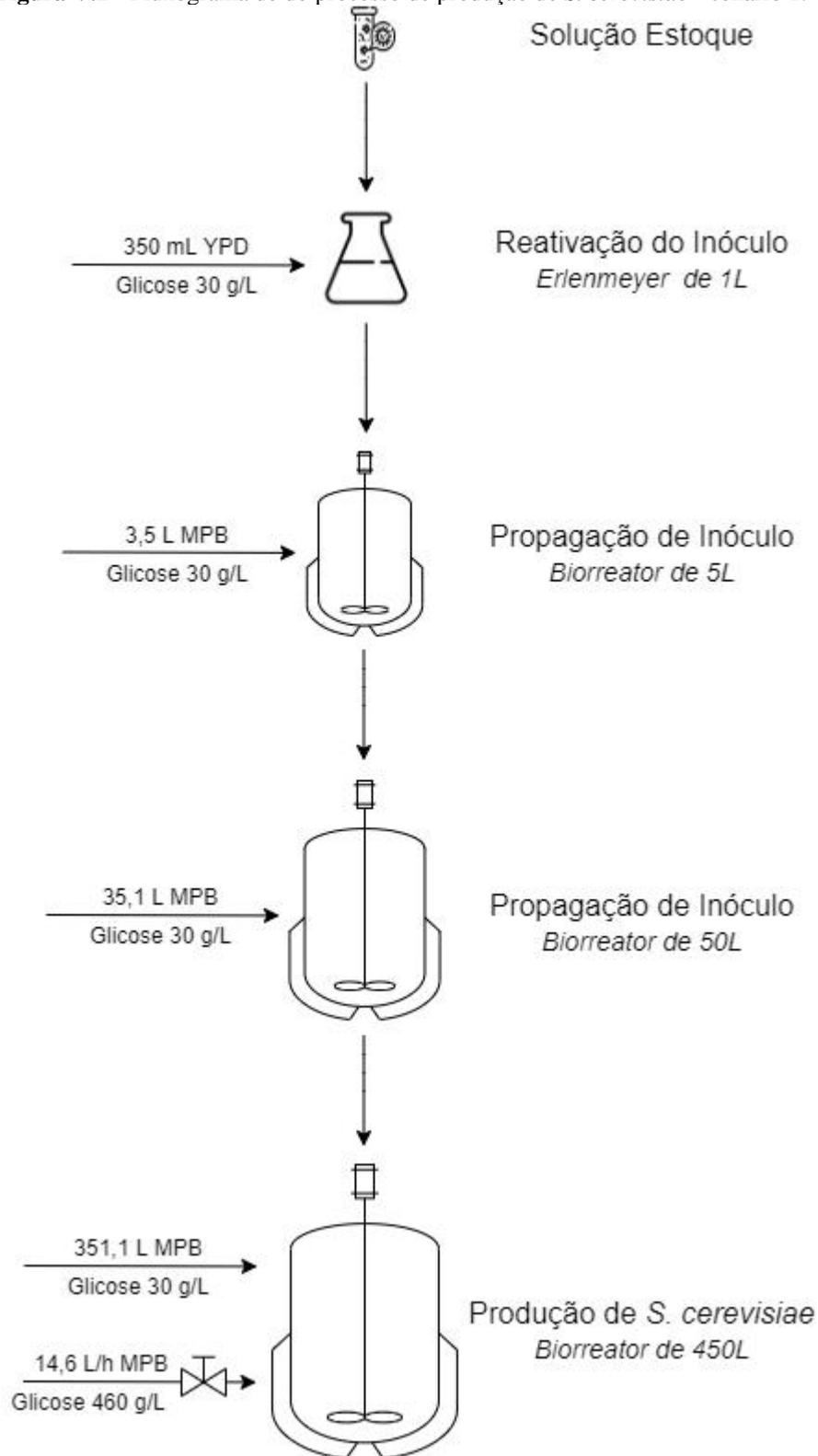
O inóculo foi transferido integralmente para o segundo biorreator de propagação de células e completado seu volume até 35 L com meio MPB. O biorreator 2 apresentou volume total de 50 L ( $V_{R,2}$ ), sendo submetido à agitação de 251 rpm e aeração de 1 vvm.

Após o fim da propagação, o inóculo seguiu para o biorreator de produção ( $V_{R,1}$ ) de 450 L. A esse reator foram adicionados 175,5 L de meio MPB. Nesta etapa, a batelada simples teve duração de 8 h, tempo no qual as células se encontravam em fase exponencial de crescimento e, portanto, adequada para a alimentação de substrato. A partir desse momento, a batelada alimentada foi iniciada, a uma vazão de 14,6 L/h e concentração de glicose na alimentação de 460 g/L. Todo esse processo ocorreu a uma agitação de 130 rpm e aeração de 1 vvm.

Ao fim de 12 h de alimentação, totalizando 20 h de bioprocesso, uma concentração de 41,1 g/L de células de *S. cerevisiae* em um meio de 351 L foi obtida. Logo, a quantidade fermento cervejeiro estimado no cenário 1 foi de aproximadamente 14,4 kg. Esse valor atendeu à demanda anual de 4,4 t de biomassa celular necessária para uma produção de 10% de fermento de cerveja tipo *Ale*.

### V.2.1.5 – Fluxograma do processo de produção de fermento cervejeiro

Figura V.2 - Fluxograma de do processo de produção de *S. cerevisiae* - cenário 1.



Fonte: Elaboração própria.

## V.2.2 – Resultados para o cenário 2

### V.2.2.1– Dimensionamento da produção

Para o cálculo do número de bateladas anuais e do volume de meio fermentativo, as seguintes considerações foram realizadas:

- Dias de funcionamento da planta: 330 dias/ano;
- Tempo de operação diário: 24 h/dia;
- Tempo total do bioprocessamento: 20 h;
- Tempo de carga, descarga e limpeza: 6 h (Adaptado de BORZANI et al., 2001).

$$B = \frac{D_f * H_f}{t_p + t_{c,d,l}} = \frac{330 * 24}{20 + 6}$$

$$B = 304,6 \text{ bateladas/ano}$$

Para atender à demanda, cerca de 305 bateladas seriam necessárias por ano.

O volume para a produção anual de biomassa celular estimada e o volume do biorreator usado no projeto de planta foram determinados com base nas seguintes considerações:

- A biomassa celular a ser produzida é de 4400 kg/ano ou  $4,4 \times 10^6$  g/ano;
- Foram consideradas 304,6 bateladas/ano;
- Da batelada alimentada para o cenário 2, a concentração de células foi de aproximadamente 54,2 g/L (segundo iteração previamente mencionada).

$$V_1 = \frac{M_p}{B * P} = \frac{4.400.000}{304,6 * 54,2}$$

$$V_1 = 266,5 \text{ L}$$

$$V_{R,1} = \frac{V_{M,1}}{0,8} = \frac{266,5}{0,8}$$

$$V_{R,1} = 333,1 \text{ L} \approx 350,0 \text{ L}$$

Então, ao final de cada batelada, foram obtidos 266,5 L de meio fermentado contendo células de *S. cerevisiae* a 54,2 g/L. Portanto, o reator para essa produção deveria ter um volume de 333,1 litros. Para fins de aproximação e coerência com equipamentos comercializados no mercado, o volume do biorreator foi considerado como 350 L.

O escalonamento resultou nos seguintes volumes para os biorreatores de propagação celular:

### Biorreator 2

$$V_2 = V_1 * 10\% = 266,5 * 10\%$$

$$V_2 = 26,7 \text{ L}$$

$$V_{R,2} = \frac{V_{M,2}}{0,8} = \frac{26,7}{0,8}$$

$$V_{R,2} = 33,4 \text{ L} \approx 35,0 \text{ L}$$

Novamente, o volume do biorreator foi aproximado, sendo igual a 35 L. Portanto, o biorreator anterior ao reator final deveria ter capacidade de 35 L para operacionalizar um montante de 26,7 L de meio fermentativo.

### Biorreator 3

$$V_3 = V_2 * 10\% = 26,7 * 10\%$$

$$V_3 = 2,7 \text{ L}$$

$$V_{R,3} = \frac{V_{M,3}}{0,8} = \frac{2,7}{0,8}$$

$$V_{R,3} = 3,4 \text{ L} \approx 5,0 \text{ L}$$

Pelo mesmo princípio anterior, optou-se por um reator de 5 L. Portanto, essa etapa da propagação deve ser realizada em um biorreator de 5 L para poder operacionalizar um montante de 2,7 L de meio fermentativo.

#### Biorreator 4 (Frasco agitado)

$$V_4 = V_3 * 10\% = 2,7 * 10\%$$

$$V_4 = 0,27 \text{ L}$$

Esse volume foi suficiente para o início da reativação do inóculo frasco agitado. Logo:

$$V_{R,4} = \frac{V_{M,4}}{0,4} = \frac{0,27}{0,4}$$

$$V_{R,4} = 0,68 \text{ L} \approx 1 \text{ L}$$

Portanto, a reativação celular de *S. cerevisiae* foi iniciada em frasco de 1 L, contendo 270 mL de meio.

#### **V.2.2.2 – Escalonamento do bioprocesso**

Os equipamentos necessários para a produção de fermento cervejeiro no cenário 2 foram:

- Um frasco agitado de 1 L;
- Um biorreator de 5 L;
- Um biorreator de 35 L;
- Um biorreator de 350 L.

Similar ao cenário 1, os frascos agitados da etapa de reativação celular no cenário 1 foram submetidos a 200 rpm (MALAIRUANG et al., 2020) e o método do kLa foi aplicado para o escalonamento do bioprocesso.

O escalonamento foi iniciado do biorreator de 5L e a semelhança geométrica foi assegurada para os equipamentos utilizados no bioprocesso. Segundo MALAIRUANG et al. (2020), biorreatores de 5 L necessitam de uma agitação de N=500 rpm para a produção de biomassa celular de levedura em altas concentrações.

Adicionalmente, foi admitido  $\frac{H}{T} = 2$

Portanto, para a extrapolação do biorreator de 5 L para um biorreator de 35 L:

Biorreator 5 L

- **$N_1 = 500$  rpm**
- **$Ti_1 = 0,147$  m**
- **$Di_1 = 0,049$  m**

Biorreator 35 L

- **$Ti_2 = 0,281$  m**
- **$Di_2 = 0,094$  m**

Para o biorreator de  $0,005$  m<sup>3</sup>, foi obtido  $A = 0,95$  e  $B = 0,67$ . Logo:

$$N_2 = 500 \left( \frac{0,094}{0,049} \right)^{-0,891}$$

$$N_2 = \mathbf{280 \text{ rpm}}$$

Por fim, para a extrapolação do biorreator de 35 L para um biorreator de 350 L:

Biorreator 35 L

- **$N_1 = 280$  rpm**
- **$Ti_1 = 0,281$  m**
- **$Di_1 = 0,094$  m**

Biorreator 350 L

- **$Ti_2 = 0,606$  m**
- **$Di_2 = 0,202$  m**

Por meio da interpolação linear para o biorreator de  $0,035$  m<sup>3</sup>, foi obtido  $A = 0,93$  e  $B = 0,67$ . Logo:

$$N_2 = 280 \left( \frac{0,202}{0,094} \right)^{-0,895}$$

$$N_2 = \mathbf{141 \text{ rpm}}$$

### V.2.2.3 – Simulação da produção por batelada alimentada – Cenário 2

Para previsão da batelada alimentada no biorreator de produção  $V_{R,1}$  (350,0 L), os parâmetros cinéticos e de operação adotados foram (PENICHEVA et al., 2004):

- $\mu_m = 0,36 \text{ h}^{-1}$ ;
- $Y_{X/S} = 0,17 \text{ g/g}$ ;
- $K_S = 0,07 \text{ g/L}$

Além disso, a concentração de glicose na alimentação, como já especificada anteriormente, é de 1.000 g/L. A partir dos parâmetros já fixados (como tempo e produção da batelada alimentada e concentração de glicose no meio), foi possível calcular as demais variáveis operacionais através de seguidas iterações.

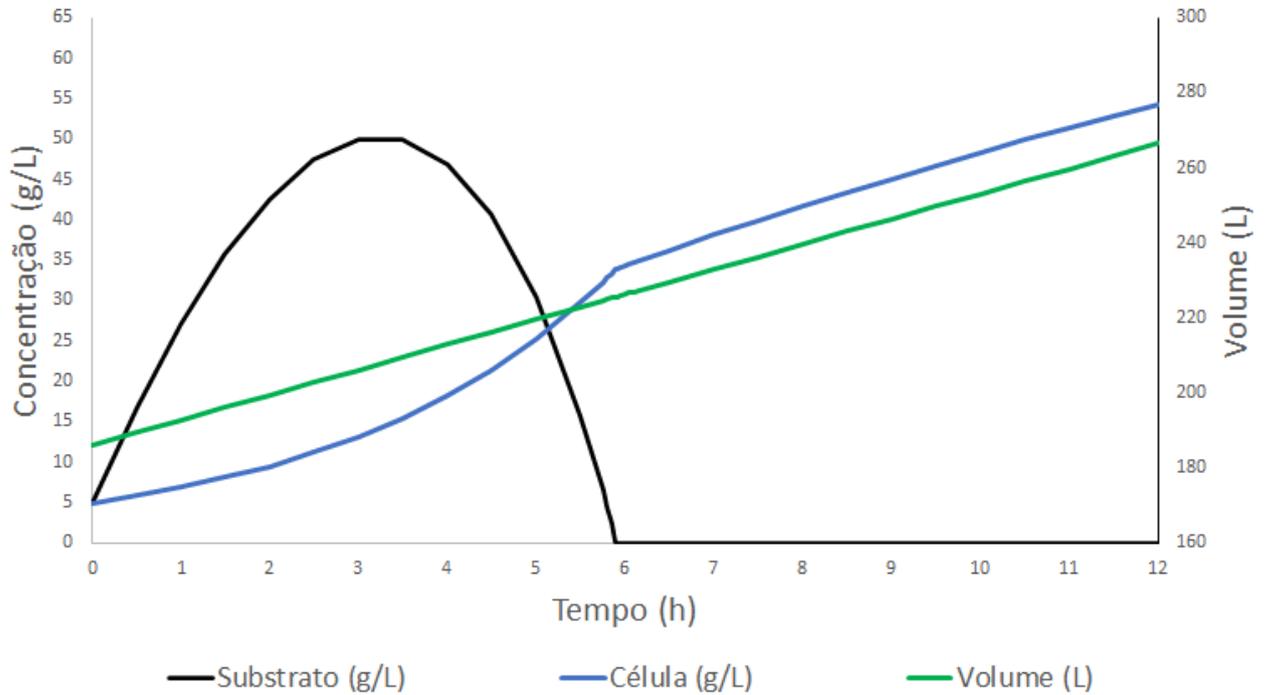
Assim, a vazão de alimentação dessa corrente de glicose foi testada, considerando as equações 16 a 20 e identificou-se que o valor de 6,7 L/h resulta em uma solução única.

O tempo de transição da batelada alimentada foi de  $t = 5,91 \text{ h}$  após o início da mesma, sendo o tempo total da batelada alimentada de 12 h.

Ao término da simulação, atingiu-se a concentração de 54,2 g/L de biomassa celular de *S. cerevisiae*, ao mesmo tempo em que o volume de meio reacional foi de 266,5 L, atingindo-se o valor previsto no dimensionamento da produção.

A Figura V.3. ilustra a simulação realizada para a variação de concentração celular, de concentração de substrato e de volume ao longo das 12 h de batelada alimentada.

**Figura V.3** - Simulação da concentração celular, concentração de substrato e volume de meio fermentativo em 12 h de batelada alimentada – cenário 2.



Fonte: Elaboração própria.

Todos os parâmetros de produção e a evolução das concentrações podem ser vistos no Apêndice B.

#### V.2.2.4 – Descrição do processo de produção de fermento cervejeiro

Da mesma forma realizada para o cenário 1, o tempo necessário para se alcançar uma quantidade de biomassa suficiente para a propagação de 10 % (v/v) de inóculo foi determinado. Partindo-se dos resultados dos estudos de PENCHEVA et al. (2004), um tempo de 7 h para uma concentração inicial de 30 g/L de glicose em batelada simples foi considerado suficiente para as etapas de propagação celular.

Para a reativação do inóculo, uma pequena amostra de células foi retirada de uma solução estoque de *S. cerevisiae* e inoculada em frasco agitado de 1 L ( $V_{R,4}$ ) a 200 rpm. O volume de trabalho empregado foi de 270 mL de meio YPD (10 g/L extrato de levedura, 20 g/L de peptona e 30 g/L de glicose). Como nesta etapa não ocorre aeração, o tempo de reativação é maior do que o tempo de propagação, sendo o mesmo de 18h (MALAIRUANG et al., 2020).

Em seguida, esse volume foi transferido para um biorreator de 5 L ( $V_{R,3}$ ) e o volume completado até 2,7 L com o meio MPB (meio de produção em batelada), sob agitação de 500 rpm e aeração de 1 vvm.

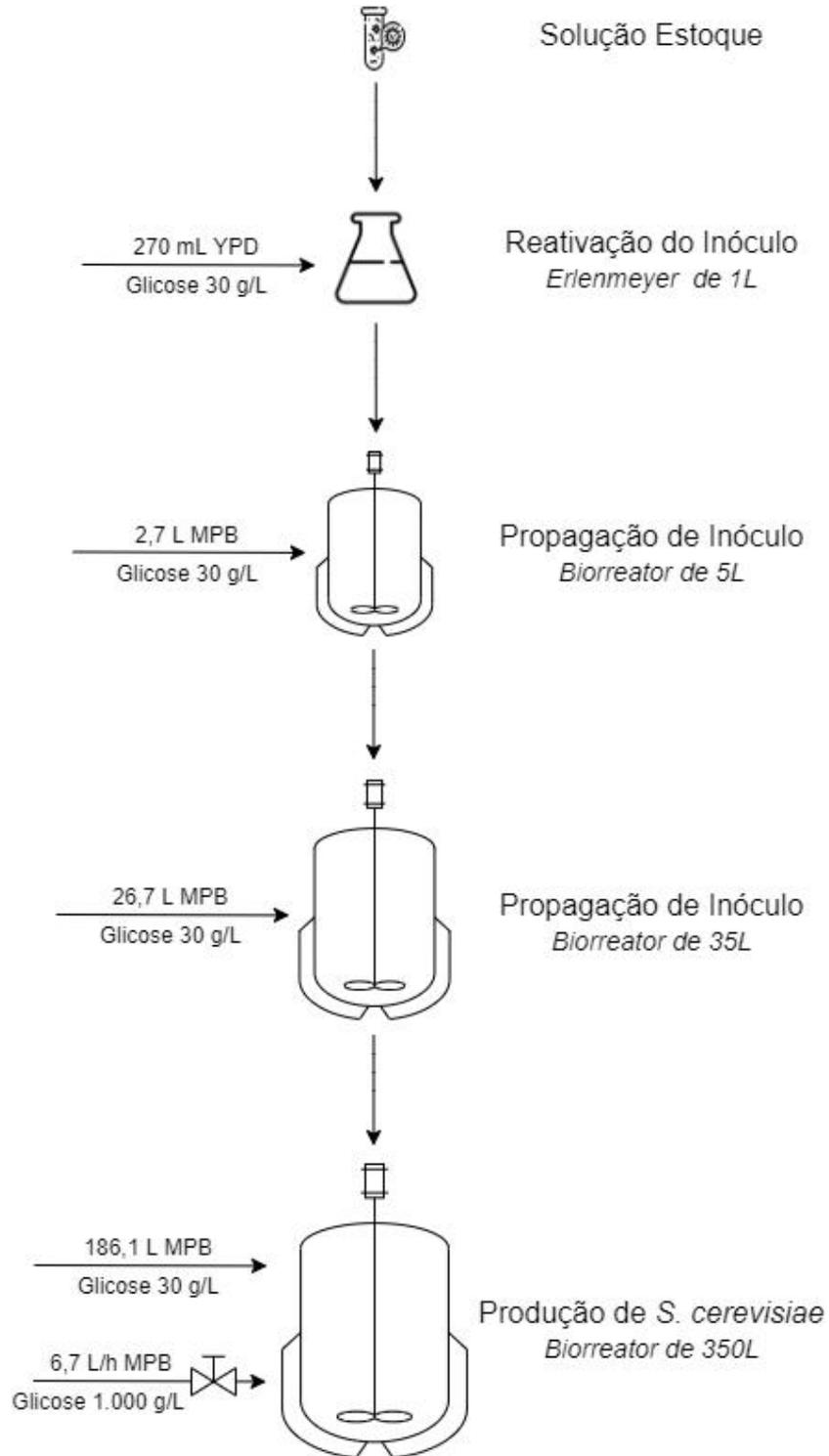
O inóculo foi transferido integralmente para o segundo biorreator de propagação de células e completado seu volume até 26,7 L com meio MPB. O biorreator 2 apresentou volume total de 35 L ( $V_{R,2}$ ), sendo submetido à agitação de 280 rpm e aeração de 1 vvm.

Após o fim da propagação, o inóculo seguiu para o biorreator de produção ( $V_{R,1}$ ) de 350 L. A esse reator foram adicionados 186,1 L de meio MPB. Nesta etapa, a batelada simples teve duração de 8 h, tempo no qual as células se encontravam em fase exponencial de crescimento e, portanto, adequada para a alimentação de substrato. A partir desse momento, a batelada alimentada foi iniciada, a uma vazão de 6,7 L/h e concentração de glicose na alimentação de 1.000 g/L. Todo esse processo ocorreu a uma agitação de 141 rpm e aeração de 1 vvm.

Ao fim de 12 h de alimentação, totalizando 20 h de bioprocessamento, uma concentração de 54,2 g/L de células de *S. cerevisiae* em um meio de 266,5 L foi obtida. Logo, a quantidade de fermento cervejeiro estimado no cenário 2 foi de aproximadamente 14,4 kg. Esse valor atendeu à demanda anual de 4,4 t de biomassa celular necessária para uma produção de 10% de fermento de cerveja tipo *Ale*.

### V.2.2.5 – Fluxograma do processo de produção de fermento cervejeiro

Figura V.4 – Fluxograma do processo de produção de *S. cerevisiae* - cenário 2.



Fonte: Elaboração própria.

## Capítulo VI - Análise Econômica Preliminar

### VI.1 - Materiais e Métodos

A Margem Bruta (MB) foi usada para avaliação inicial do potencial econômico do bioprocessamento de produção de fermento biológico neste estudo. A equação que a descreve é dada pela diferença entre a receita (\$/a), decorrente da venda do produto final, e os custos com matérias-primas e insumos (\$/a) (PERLINGEIRO, 2015).

A Equação 21 descreve a MB de um processo produtivo.

$$MB (\$/a) = R (\$/a) - C_{matprim} (\$/a) \quad (21)$$

Em que:

R= receita, dada por  $p \cdot Prod$  [\$/a];

p= preço de venda [\$/t];

Prod= taxa de produção prevista [t/a];

$C_{matprim}$ = custos com matérias-primas e insumos [\$/a].

Neste estudo, as principais matérias-primas usadas para a produção de fermento cervejeiro (produto de interesse) foram a glicose (substrato) e o extrato de levedura e peptona (compostos orgânicos nitrogenados). Os demais insumos foram a água, sais inorgânicos (principalmente com função tamponante), vitaminas e minerais.

O meio fermentado contendo biomassa celular crescida representou o produto intermediário deste estudo, que deverá ser tratado e recuperado, a fim de se obter o produto final. O fermento úmido, resultante da centrifugação (primeira operação unitária da etapa *downstream* do bioprocessamento) foi considerado o produto final.

O Quadro VI.1 apresenta um resumo dos principais nutrientes utilizados no cálculo de custos com matérias-primas e insumos usados na determinação da MB.

**Quadro VI.1** – Matérias-primas e os insumos utilizados no estudo

Glicose
Substrato usado como fonte de carbono e energia para as células
Extrato de levedura
Insumo orgânico, usado como fonte de nitrogênio para as células
Peptona
Insumo orgânico, usado como fonte de nitrogênio para as células
Demais nutrientes usados no meio de cultivo
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , $(\text{NH}_4)_5[\text{Fe}(\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_7)_2]$ , $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , $\text{H}_3\text{BO}_3$ , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , e $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

**Fonte:** Elaboração própria.

## **VI.2 – Resultados**

A MB foi determinada para os dois cenários investigados, a fim de se verificar o processo mais vantajoso economicamente.

Para a elaboração do estudo econômico, uma pesquisa de preços foi realizada, por meio da busca em diversos fornecedores de produtos químicos e biológicos. As Tabelas VI.1 e VI.2 apresentam as principais informações levantadas para os nutrientes do meio de fermentação e para o fermento biológico comercial, respectivamente.

Os valores usados nesta etapa econômica corresponderam ao menor preço possível encontrado para as matérias-primas, insumos e produto final, levando-se em consideração a confiabilidade dos fornecedores. Dessa forma, foram considerados as maiores embalagens disponíveis comercialmente desses compostos, uma vez que seus preços por quilograma são menores. É importante salientar que, industrialmente, é possível encontrar preços ainda mais baixos devido ao elevado montante necessário no processo produtivo e ao grau de refinamento que é diferente de um bioprocessamento realizado em escala de bancada, por exemplo.

Por fim, a facilidade na obtenção das informações de custos também foi considerada neste estudo. Assim, foram adotados os valores comercializados por empresas que normalmente atendem à escala de laboratório e que, por isso, trabalham com materiais mais refinados.

**Tabela VI.1** – Especificações das matérias-primas e insumos utilizados no meio de fermentação.

Matérias Primas	Especificações
Glicose	Pureza: 99,5% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 116,20 por Kg
Extrato de levedura	Pureza: Não se aplica Fornecedor: Millipore (Millipore, 2021) Preço: R\$ 633,00 por Kg
Glicerol	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 519,00 por Kg
Peptona	Pureza: Não se aplica Fornecedor: Millipore (Millipore, 2021) Preço: R\$ 468,00 por Kg
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 640,00 por Kg
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 717,00 por Kg
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 638 por Kg
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 376 por Kg
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 568 por Kg
(NH <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> [Fe(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> ]	Pureza: Não se aplica Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 448,00 por Kg Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 1256 por Kg
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	Pureza: 98% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 1.131 por Kg
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Pureza: 99,5% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 302 por Kg
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 421 por Kg
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 912 por Kg
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Pureza: 99,5% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 1613 por Kg
NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	Pureza: 99% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 1640 por Kg

CuSO4.5H2O	Pureza: 98% Fornecedor: Sigma-Aldrich (SIGMA- ALDRICH, 2021) Preço: R\$ 751 por Kg
------------	--

**Fonte:** Elaboração própria.

**Tabela VI.2** - Especificações de fermentos cervejeiros comerciais.

Produtos	Especificações
Fermento	Pureza: Não se aplica
SafAle™ US-05	Fabricante: Fermentis
( <i>S. cerevisiae</i> )	Fornecedor: WeConsultoria (WECONSULTORIA, 2021)
	Preço: R\$ 1.055,40 por Kg

**Fonte:** Elaboração própria.

### VI.2.1 – Margem bruta do cenário 1

Para o cenário 1, a MB calculada foi de R\$1,11 M, apresentando resultado positivo. Isso indicou que a planta proposta pode ter viabilidade econômica. As Tabelas VI.3 e VI.4 apresentam os resultados estimados para a determinação de MB.

**Tabela VI.3** – Quantidade total de nutrientes por batelada para o cenário 1.

Matérias Primas	Massa Etapa 1 (g/batelada)	Massa Etapa 2 (g/batelada)	Massa Etapa 3 (g/batelada)	Massa Etapa 4 (g/batelada)	Massa Total (g/batelada)
Glicose	7,27	72,73	727,27	86.724,24	87.531,52
Extrato de Levedura	2,40	-	-	-	2,40
Peptona	4,80	-	-	-	4,80
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	5,33	53,33	780,00	838,67
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	3,64	36,36	531,82	571,82
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	-	4,36	43,64	638,18	686,18
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	-	0,48	4,85	70,91	76,24
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	-	0,02	0,24	3,55	3,81
(NH <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> [Fe(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> ]	-	0,01	0,14	2,11	2,26
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,07	0,08
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	-	0,00	0,01	0,11	0,11
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,04	0,04
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01

NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01
<b>Produto: Saccharomyces cerevisiae</b>	-	-	-	14.442,13	14.442,13

**Fonte:** Elaboração própria.

**Tabela VI.4** – Margem Bruta para o cenário 1.

Matérias Primas	Massa (g/batelada)	Preço (R\$/Kg)	Custo (R\$/batelada)	Custo (R\$/ano)
Glicose	87.531,52	116,20	10.171,16	3.098.135,96
Extrato de Levedura	2,40	633,00	1,52	462,75
Peptona	4,80	468,00	2,25	684,25
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	838,67	640,00	536,75	163.493,03
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	571,82	717,00	409,99	124.884,06
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	686,18	638,00	437,78	133.349,01
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	76,24	376,00	28,67	8.732,01
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	3,81	568,00	2,17	659,55
(NH <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> [Fe(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> ]	2,26	1.256,00	2,84	866,31
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,08	1.131,00	0,09	26,53
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,11	302,00	0,03	10,52
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,04	421,00	0,02	4,89
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,01	912,00	0,01	3,18
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,01	1.613,00	0,02	5,62
NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,01	1.640,00	0,01	3,81
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,01	751,00	0,01	1,70
<b>Custo Total</b>			11.593,31	3.531.323,18
<b>Produto: Saccharomyces cerevisiae</b>	14442,13	1055,4	15242,22048	4.642.780,36
<b>Receita Total</b>			15.242,22	4.642.780,36
<b>Margem Bruta</b>			3.648,91	1.111.457,17

**Fonte:** Elaboração própria.

## VI.2.2 – Margem bruta do cenário 2

Os mesmos cálculos foram realizados para o cenário 2, cujos resultados foram apresentados nas Tabela VI.5 e VI.6. A MB estimada para o cenário 2 foi também positiva, em torno de R\$1,20 M.

**Tabela VI.5** – Quantidade total de nutrientes por batelada para o cenário 2.

Matérias Primas	Massa Etapa 1 (g/batelada)	Massa Etapa 2 (g/batelada)	Massa Etapa 3 (g/batelada)	Massa Etapa 4 (g/batelada)	Massa Total (g/batelada)
Glicose	8,18	81,82	809,09	86.851,52	87.750,61
Extrato de Levedura	2,70	-	-	-	2,70
Peptona	5,40	-	-	-	5,40
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	6,00	59,33	592,22	657,56
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	-	4,09	40,45	403,79	448,33
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	-	4,91	48,55	484,55	538,00
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	-	0,55	5,39	53,84	59,78
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	-	0,03	0,27	2,69	2,99
(NH <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> [Fe(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> ]	-	0,02	0,16	1,60	1,78
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,01	0,05	0,06
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	-	0,00	0,01	0,08	0,09
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,03	0,03
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01
NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	-	0,00	0,00	0,01	0,01
Produto: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	-	-	-	14.444,30	14.444,30

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela VI.6** - Margem Bruta para o cenário 2.

Matérias Primas	Massa (g/batelada)	Preço (R\$/Kg)	Custo (R\$/batelada)	Custo (R\$/ano)
Glicose	87.750,61	116,20	10.196,62	3.105.890,58
Extrato de Levedura	2,70	633,00	1,71	520,59
Peptona	5,40	468,00	2,53	769,79
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	657,56	640,00	420,84	128.186,51
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	448,33	717,00	321,46	97.915,19
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	538,00	638,00	343,24	104.552,12
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	59,78	376,00	22,48	6.846,32
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	2,99	568,00	1,70	517,12
(NH <sub>4</sub> ) <sub>5</sub> [Fe(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) <sub>2</sub> ]	1,78	1.256,00	2,23	679,23
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,06	1.131,00	0,07	20,80
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,09	302,00	0,03	8,25
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,03	421,00	0,01	3,83
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,01	912,00	0,01	2,49

Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,01	1.613,00	0,01	4,41
NiSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,01	1.640,00	0,01	2,99
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0,01	751,00	0,00	1,31
<b>Custo Total</b>			<b>11.312,94</b>	<b>3.445.921,53</b>
<b>Produto:</b> <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	<b>14444,30</b>	<b>1055,4</b>	<b>15244,51422</b>	<b>4.643.479,03</b>
<b>Receita Total</b>			<b>15.244,51</b>	<b>4.643.479,03</b>
<b>Margem Bruta</b>			<b>3.931,57</b>	<b>1.197.557,50</b>

**Fonte:** Elaboração própria.

### **VI.3 – Discussão**

A partir das margens brutas obtidas foi possível identificar que para ambos os cenários de produção de biomassa celular – um cenário com concentração de glicose na alimentação similar à solubilidade da mesma em água (cenário 1) e outro com concentração de glicose na alimentação máxima (cenário 2) – os resultados foram considerados promissores do ponto de vista econômico. Em especial, o cenário 2 apresentou maior potencial produtivo, com uma margem bruta maior.

Além dos custos com matérias-primas e insumos, outros fatores podem influenciar a viabilidade econômica do bioprocessos, como o custo de aquisição de equipamentos (*Capital Expenditure - Capex*) e custos com a operação em si (*Operational Expenditure - Opex*). Nesse sentido, novamente o cenário 2 apresenta maior potencial de implementação, visto que os biorreatores envolvidos no projeto de planta são de dimensões menores, indicando potencialmente menores valores de *Capex* e *Opex*.

## Capítulo VII – Conclusões e trabalhos futuros

Por meio deste estudo, foi possível estimar o número de bateladas, as dimensões dos biorreatores usados em um processo produtivo em larga escala e a viabilidade econômica inicial do projeto de uma planta brasileira de produção de fermento cervejeiro em larga escala.

As simulações realizadas para os dois cenários de produção de biomassa celular indicaram resultados promissores do ponto de vista econômico, sendo o cenário 2 com maior potencial produtivo, já que, obteve uma margem bruta maior e possui menores dimensões de biorreatores, conseqüentemente, menores valores esperados de *Capex* e *Opex*.

Portanto, por meio deste estudo foi possível indicar que o investimento para a instalação de uma planta industrial brasileira de produção de biomassa de *S. cerevisiae* para produção de cerveja tipo *Ale* é econômica e mercadologicamente promissora.

Para futuras análises, é recomendado que se faça uma avaliação econômica mais detalhada, que englobe todos os possíveis custos e despesas da operação. Além disso, é necessário estimar o fluxo de caixa ao longo do tempo, considerando possíveis investimentos, receitas e despesas do processo. Assim, será possível indicar com maior confiança a real viabilidade econômica do projeto.

## Capítulo VIII - Referências Bibliográficas

ANTÔNIO, Paulo; DUTRA, Karen Estefan. Pesquisa de mercado: ferramenta norteadora no processo decisório que antecede a tomada de decisão. **Revista Eletrônica da Faculdade Metodista Granbery**, [s. l.], 2008. Disponível em: <http://re.granbery.edu.br/>. Acesso em: 27 set. 2021.

ARAÚJO, F.B.; SILVA, P.H.A.; MINIM, V.P.R. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, [s. l.], 2003.

BAMFORTH, C. W. **Scientific principles of malting and brewing**. 1.ed. St Paul: American Society of Brewing Chemists, 2006.

BARROS, Emmanuel Uchôa Lira. **Estudo de crescimento de levedura usada na produção da belgian pale ale da cervejaria Philipeia**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro Químico) - Universidade Federal da Paraíba, [S. l.], 2018.

BARTHHAAS. **Hops are our passion | BarthHaas**. [S. l.], [ca. 2021]. Disponível em: <https://www.barthhaas.com/en/>. Acesso em: 19 set. 2021.

BIO4. **Bio 4 - Soluções Biotecnológicas**. [S. l.], [ca. 2021]. Disponível em: <https://bio4.com.br/>. Acesso em: 20 set. 2021.

BORGES, Pedro Felipe Oliveira. **Concentração do mercado de cerveja no brasil e a participação das microcervejarias**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro Químico) - Universidade Federal Fluminense, [S. l.], 2015.

BORZANI, W., SCHIMDELL, W., LIMA, U., & AQUARONE, E. (2001). **Biotecnologia industrial (1a ed., Vols. Volume 2 - Engenharia Bioquímica)**. Brasil: Editora Edgard Blucher Ltda.

BOTELHO, Bruno Gonçalves. **Perfil e teores de amins bioativas e características físico-químicas em cervejas**. 2009. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2009.

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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 jun. 2009.

CARVALHO, Giovanni et al. Elementos Biotecnológicos fundamentais no processo cervejeiro: 2º parte – A Fermentação. **Revista Analytica**, [S. l.], p. 46-54, 1 dez. 2006.

CERVBRASIL. Anuário 2015. **CervBrasil - Associação Brasileira da Indústria da Cerveja**, [s. l.], 2016.

CERVEJA DA CASA. **Principais fermentos usados para produção de cerveja caseira e estilos indicados para cada um**. [S. l.], 2019. Disponível em:

<https://cervejadacasa.wordpress.com/2019/05/22/principais-fermentos-usados-para-producao-de- cerveja-caseira-e-estilos-indicados-para-cada-um/>. Acesso em: 20 set. 2021.

COSTA, Pedro Sgobbi Paranhos da. **Estudo da fermentação de cervejas ale e lager**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Biotecnologia) - Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2019.

DANTAS, Giordanni Cabral. **Diversidade genética de leveduras do complexo *Saccharomyces "Sensu Stricto"***. 2010. Dissertação (Mestre em Genética) - Universidade Federal de Pernambuco, [S. l.], 2010.

DORAN, P. M. **Bioprocess engineering principles**. 2. ed. UK: Academic Press, 2012.

EUROMONITOR apud. G1. **Vendas de cerveja no Brasil**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/05/23/consumo-de-cerveja-migra-para-dentro-de-casa-e-volume-de-vendas-no-brasil-e-o-maior-desde-2014.ghtml>. Acesso em: 20 set. 2021.

FAPESC (ed.). **Santa Catarina ganha primeiro laboratório que fabrica fermento para cerveja**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.fapesc.sc.gov.br/santa-catarina-ganha-primeiro-laboratorio-que-fabrica-fermento-para-cerveja/>. Acesso em: 10 out. 2021.

FERMENTIS (ed.). **Fermentis - Yeast and Fermentation Solutions for Beverage**. [S. l.], [ca. 2021]. Disponível em: <https://fermentis.com/en/>. Acesso em: 6 out. 2021.

FLANDERS. Flanders State of the Art. **Beer Sector in Brazil**, [s. l.], 2020.

FONTOURA, Camilla Rocha de Oliveira; ASEVEDO, Sávio de Meneses Leite; NETO, Miguel Rascado Fraguas; SANTOS, Lígia Marcondes Rodrigues dos; PEREIRA, Cristiane de Souza Siqueira. Uso do simulador de processos no estudo da engenharia química: uma aplicação no processo de produção de cerveja. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], 2019.

FRANZOL, Angélica; REZENDE, Mirabel Cerqueira. Estabilidade de emulsões: um estudo de caso envolvendo emulsionantes aniônico, catiônico e não-iônico. **Polímeros**, [s. l.], 2015.

HARDWICK, W. A. **Handbook of brewing**. New York: Marcel Dekker, 1995.

HORST, Guilherme Blanco; SALLES, Luciane Bernardo. **Avaliação da eficiência da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (W-34/70) reaproveitada na produção de cerveja**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2015.

INSTITUTO DE MICROBIOLOGIA - UFRJ. **“Cariocana”: uma cerveja de “alma” carioca**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.microbiologia.ufrj.br/portal/index.php/pt/destaques/micronews/686-cariocana-uma-cerveja-de-alma-carioca>. Acesso em: 22 set. 2021.

JORGE, E.P.M. **Processamento de cerveja sem álcool**. 2004. Monografia de conclusão de curso (Graduação) – Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, 2004.

JUNIOR, Airton Saboya Valente; ALVES, Francisca Crisia Diniz. Bebidas alcoólicas: Cerveja. **Caderno Setorial ETENE**, [s. l.], 2016.

LEVTECK (ed.). **Home - Levteck**. [S. l.], [ca. 2021]. Disponível em: <https://levteck.com.br/>. Acesso em: 21 set. 2021.

LI, Yonghong; ZHAO, Zongbao; BAI, Fengwu. High-density cultivation of oleaginous yeast *Rhodospiridium toruloides* Y4 in fed-batch culture. **Enzyme and Microbial Technology**, [s. l.], 2007.

LIEVENSE, J. C. **An investigation of the aerobic, glucose-limited growth and dynamics of *Saccharomyces cerevisiae***. Tese (Doutorado) - Purdue University, Indiana, 1984.

MALAIRUANG, Kwanruthai; KRAJANG, Morakot; SUKNA, Jatuporn; RATTANAPRADIT, Krongchan; CHAMSART, Saethawat. High cell density cultivation of *Saccharomyces cerevisiae* with intensive multiple sequential batches together with a novel technique of fed-batch at cell level (FBC). **MDPI**, [s. l.], 2020. Disponível em: <http://www.mdpi.com/journal/processes>. Acesso em: 1 out. 2021.

MAPA. Anuário da Cerveja 2020. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, [s. l.], 2021.

MOREIRA, Catarina. Respiração. **Revista de Ciência Elementar**, [s. l.], 2013.

NEVES, Luiz Carlos Martins das. **Obtenção da enzima glicose-6-fosfato desidrogenase utilizando *Saccharomyces cerevisiae* W303-181**. 2003. Dissertação (Mestre em Farmácia) - Universidade de São Paulo, [S. l.], 2003.

OLIVEIRA, Priscilla dos Santos de. **Estratégias para produção de leveduras cervejeiras**. 2019. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2019.

OMS. Global status report on alcohol and health 2018. **World Health Organization**, [s. l.], 2018.

PENCHEVA, Tania; HRISTOZOV, Iasen; TZONKOV, Stoyan; HITZMANN, Bernd. Functional State Modelling of *Saccharomyces cerevisiae* Cultivations. **Bioautomation**, [s. l.], 2004.

PEREIRA, Luiz Filipe Mattos. **Reinheitsgebot: uma análise histórica sobre a lei de pureza da cerveja (1516) e sua influência política e legislativa na Alemanha e no ordenamento jurídico brasileiro**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Direito) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, [S. l.], 2015.

PERLINGEIRO, Carlos Augusto G. **Engenharia de Processos: Análise, Simulação, Otimização e Síntese de Processos Químicos**. São Paulo: Blucher, 2018.

POWELL, C. D.; DIACETIS, A. N. Long Term Serial Repitching and the Genetic and Phenotypic Stability of Brewer's Yeast. **Journal of the Institute of Brewing**, [S. l.], 2007.

PROSIMPLUS. **ProSimPlus Library (Standard versions + rate base option)**. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.prosim.net/bibliotheque/File/Brochures/Unit-Operations/ProSimPlusLibrary-3-5-11.pdf>. Acesso em: 1 out. 2021.

REED, Gerald; PEPPLER, Henry J. **Yeast Technology**. [S. l.: s. n.], 1973.

REIS, Gianni Braune. **Simulação e controle do processo de produção de levedura**. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, [S. l.], 2009.

ROSA, Natasha Aguiar; AFONSO, Júlio Carlos. A química da cerveja. **Química nova na escola**, [s. l.], 2015.

SILVA, Felipe da Cunha da. **Avaliação do estoque de matéria prima, um estudo de caso: Calçados Italianinho LTDA Sombrio SC**. 2014. Projeto de pesquisa (Administração) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, [S. l.], 2014.

SEBRAE. **A importância do estudo de mercado**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/ap/artigos/a-importancia-do-estudo-de-mercado,92e9812ca826e510VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 22 set. 2021.

SOARES, Camila Eleoterio Lopes. **Análise da proposta de um bioprocessamento para obtenção de um intermediário farmacêutico tendo como base a resolução da diretoria colegiada 17**. 2014. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2014.

VALOR ECONÔMICO. **Infográfico: Market share de vendas de cerveja no Brasil em 2019**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://catalisi.com.br/infografico-market-share-do-mercado-de-cerveja-no-brasil-em-2019/>. Acesso em: 20 set. 2021.

WALKER, G. M. **Yeast - Physiology and biotechnology**. John Wiley and sons Ltd. England., 350pp., 1998

WE CONSULTORIA. **We Consultoria - Malte, lúpulo, fermento e equipamentos para fazer cerveja**. [S. l.], [ca. 2021]. Disponível em: <https://loja.weconsultoria.com.br/>. Acesso em: 1 out. 2021.

YEASTLAB. **HOME - Yeastlab Biotecnologia**. [S. l.], [ca. 2021]. Disponível em: <http://www.yeastlab.com.br/home>. Acesso em: 1 out. 2021.

ZHANG, Dongfang; MONTAÑÉS, Fernando; SRINIVAS, Keerthi; FORNARI, Tiziana; IBÁÑEZ, Elena; KING, Jerry W. Measurement and Correlation of the Solubility of Carbohydrates in Subcritical Water. **Ind. Eng. Chem. Res.**, [s. l.], 2010.

ZIZHOU, Njodzi. **Studies on the fed-batch propagation on brewers yeast in high gravity wort**. 2001. Dissertação (Mestre em Ciências) - Department of Chemical Engineering, University of Cape Town, [S. l.], 2001.

## APÊNDICE A

**Tabela 1** - Parâmetros utilizados no cenário 1.

$V$	351,10 L
$V_0$	175,53 L
$F$	14,627 L/h
$t_T$	6,16 h
$X_0$	5,00 g/L
$S_0$	5,00 g/L
$S_F$	460,00 g/L
$\mu_m$	0,36 h <sup>-1</sup>
$Y_{X/S}$	0,17 g/g
$K_S$	0,07 g/L

**Fonte:** Elaboração própria.

**Tabela 2** - Evolução das concentrações e volume do cenário 1.

Tempo (h)	Volume (L)	Concentração de Biomassa (g/L)	Concentração de Glicose (g/L)
0	175,5	5	5
0,5	182,8	5,7	17,6
1	190,1	6,6	28,1
1,5	197,4	7,6	36,6
2	204,8	8,8	43,1
2,5	212,1	10,1	47,6
3	219,4	11,7	49,8
3,5	226,7	13,5	49,8
4	234	15,6	47,2
4,5	241,3	18,1	41,9
5	248,6	21	33,5
5,5	255,9	24,4	21,7
6	263,3	28,4	5,9
6,5	270,6	30,6	0
7	277,9	31,9	0
7,5	285,2	33	0
8	292,5	34,1	0
8,5	299,8	35,1	0
9	307,1	36,1	0
9,5	314,4	37	0
10	321,8	37,9	0
10,5	329,1	38,8	0

11	336,4	39,6	0
11,5	343,7	40,4	0
12	351,1	41,1	0

**Fonte:** Elaboração própria.

## APÊNDICE B

**Tabela 1** - Parâmetros utilizados no cenário 2.

$V$	266,50 L
$V_0$	186,10 L
$F$	6,70 L/h
$t_T$	5,91 h
$X_0$	5,00 g/L
$S_0$	5,00 g/L
$S_F$	1.000,00 g/L
$\mu_m$	0,36 h <sup>-1</sup>
$Y_{X/S}$	0,17 g/g
$K_S$	0,07 g/L

**Fonte:** Elaboração própria.

**Tabela 2** - Evolução das concentrações e volume do cenário 2.

Tempo (h)	Volume (L)	Concentração de Biomassa (g/L)	Concentração de Glicose (g/L)
0	186,1	5	5
0,5	189,4	5,9	16,8
1	192,8	6,9	27,1
1,5	196,1	8,1	35,8
2	199,5	9,5	42,6
2,5	202,8	11,2	47,4
3	206,2	13,2	49,9
3,5	209,5	15,5	49,9
4	212,9	18,2	46,9
4,5	216,2	21,5	40,6
5	219,6	25,3	30,4
5,5	222,9	29,7	15,7
6	226,3	34,3	0
6,5	229,6	36,3	0
7	233	38,1	0
7,5	236,3	39,9	0
8	239,7	41,7	0
8,5	243	43,4	0
9	246,4	45,1	0
9,5	249,7	46,7	0
10	253,1	48,3	0

10,5	256,4	49,8	0
11	259,8	51,3	0
11,5	263,1	52,8	0
12	266,5	54,2	0

**Fonte:** Elaboração própria.