



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
ESCOLA DE QUÍMICA**



**PROJETO DE UMA PLANTA PARA A PRODUÇÃO DE VINHO A  
PARTIR DE UVAS SYRAH UTILIZANDO O SIMULADOR *SUPERPRO  
DESIGNER*®**

**LUCAS BASTOS SALES**

**MARCELLE FRANÇA PIMENTEL COSTA**

**RIO DE JANEIRO  
2020**

**LUCAS BASTOS SALES  
MARCELLE FRANÇA PIMENTEL COSTA**

**PROJETO DE UMA PLANTA PARA A PRODUÇÃO DE VINHO A  
PARTIR DE UVAS SYRAH UTILIZANDO O SIMULADOR *SUPERPRO  
DESIGNER*®**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Química.

Orientadores:

Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto (*DSc*)

Elcio Ribeiro Borges (*DSc*)

**RIO DE JANEIRO  
2020**

**PROJETO DE UMA PLANTA PARA A PRODUÇÃO DE VINHO A  
PARTIR DE UVAS SYRAH UTILIZANDO O SIMULADOR *SUPERPRO  
DESIGNER*®**

*Lucas Bastos Sales*  
*Marcelle França Pimentel Costa*

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:

---

Prof.ª Selma Gomes Ferreira Leite, *D.Sc.*

---

Prof. Luiz Antonio d'Ávila, *D.Sc.*

---

Prof.ª Erica Airosa Figueredo, *M.Sc.*

Orientado por:

---

Prof.ª Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, *D.Sc.*

---

Prof. Elcio Ribeiro Borges, *D.Sc.*

Rio de Janeiro

2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

S163p Sales, Lucas Bastos  
PROJETO DE UMA PLANTA PARA A PRODUÇÃO DE VINHO A PARTIR DE UVAS SYRAH UTILIZANDO O SIMULADOR SUPERPRO DESIGNER® / Lucas Bastos Sales, Marcelle França Pimentel Costa. -- Rio de Janeiro, 2020.  
93 f.

Orientadora: Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto.

Coorientador: Elcio Ribeiro Borges.

Trabalho de conclusao de curso (graduagao) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Quimica, Bacharel em Engenharia Quimica, 2020.

1. Vinho. 2. Syrah. 3. Simulagao. 4. SuperPro Designer®. I. Costa, Marcelle França Pimentel. II. Couto, Maria Antonieta Peixoto Gimenes, orient. III. Borges, Elcio Ribeiro, coorient. IV. Titulo.

## AGRADECIMENTOS

*(Lucas Bastos Sales)*

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a minha mãe Adriana, a meu pai Herbert e a minha irmã Sophia pelo apoio e suporte ao longo desses seis anos, em que me deram todo o tipo de incentivo para eu tomar minhas próprias decisões e sempre acreditaram no meu potencial para lidar com os desafios trazidos pela universidade e pela vida.

A minha dupla, Marcelle França, eu agradeço por estar ao meu lado desde os primeiros dias de aula, podendo me acompanhar em experiências inesquecíveis ao longo do curso e me proporcionando uma energia de positividade e esperança todas as vezes em que estive em minha companhia.

Aos amigos da faculdade, Ana Carolina Jerdy, Gabriel Santos, Gabriela Araújo, Matheus Trindade, Nathália Bretas, Tiago Bréfere e Vinícius Andrade por não me deixarem desistir de nenhuma matéria, pelos abraços entre as aulas, por sempre estarem abertos a me escutar e por momentos únicos de diversão quando tudo parecia que daria errado.

Aos amigos da vida, Ariel Carvalho, Gabriel Caumo, Jean Bernardo, Luiz Targino, Paola Alexandra e Ramon Santos, por terem me encontrado e me dado um outro significado de família, por deixarem meus finais de semanas mais coloridos, por estarem dispostos a dançar por oito horas seguidas e por ouvirem os meus dramas diários.

Ao meu grande amigo da quarentena, João Lage, por acreditar na minha capacidade de concluir este trabalho, por tornar os dias mais leves, por ter me acolhido em sua família, por todos os jantares preparados para que eu focasse na finalização deste projeto e por todo o carinho me proporcionado.

Por fim, à Escola de Química da UFRJ, por ter sido indispensável para meu amadurecimento profissional e pessoal e por ter me permitido fazer amigos que hoje fazem parte de mim.

## AGRADECIMENTOS

*(Marcelle França Pimentel Costa)*

Primeiramente agradeço a minha dupla, Lucas Sales, por ter apostado também nesse projeto e se dedicado a todos os nossos prazos e ideias, além de todo o companheirismo ao longo de toda a faculdade.

Aos meus pais, Marcia e Marcelo, e meu irmão, Higor, que me acompanharam desde o início da escrita e me ajudaram nos momentos mais difíceis, de insegurança, cansaço e estresse. Além de toda força desde o primeiro dia de aula.

À minha melhor amiga, Nathalia Frazão, por ser meu maior exemplo de dedicação e que assim me inspirou em todo esse processo, além de toda a força nesses sete anos.

Aos meus amigos de faculdade e de vida, Ana Carolina Jerdy, Gabriel Santos, Gabriela Araújo, Matheus Trindade, Nathália Bretas, Rafael Ratier e Vinícius Andrade, por todos os encontros antes e depois das aulas, pelas matérias ensinadas, pelos acolhimentos e, principalmente, por nossos momentos incríveis de lazer.

Às minhas amigas e amigos de escola e de trabalho, que me impulsionaram sempre e comemoraram a conclusão desse trabalho como se fosse delas.

Ao meu namorado, Maikon Costa, que me incentivou por tantas vezes a não deixar de escrever e conseguiu fazer desse processo mais tranquilo.

À Escola de Química da UFRJ, que foi minha segunda casa por tantos anos, que me permitiu criar laços muito especiais, amadurecer e ter tantas oportunidades transformadoras profissionalmente e de forma pessoal.

## RESUMO

Diante do crescimento da produção de vinhos brasileiros e do enoturismo no país, esse processo vem sendo cada vez mais estudado. Pela grande variedade de uvas existentes, mesmo entre os próprios vinhos tintos, brancos ou *rosé*, são encontradas bebidas com características únicas. O presente trabalho foi concebido com o intuito de elaborar um layout para uma produção artesanal de vinho mediante o simulador *SuperPro Designer*®, optando-se pela escolha da uva *Vitis Vinífera Syrah* como matéria-prima. O simulador permitiu a visualização e a análise do processo integrado. Primeiramente, foram ajustados os parâmetros operacionais necessários para cada equipamento, tais como suas respectivas dimensões, tempo de duração de cada etapa, temperatura e as proporções de entrada e saída de componentes. Em seguida, finalizada a simulação, foi possível visualizar as indicações de vazão mássica e volumétrica das correntes, assim como estimar o tempo de produção total, a quantidade de garrafas obtidas e os custos vinculados. Para o estudo em questão foi considerada uma entrada, em massa, de 4.000 Kg de uva *Syrah* por ciclo produtivo, o qual ocorre uma vez por ano, com uma fermentação alcoólica de 10 dias a fim de obter um vinho com teor alcoólico em torno de 12% v/v, viabilizando, aproximadamente, 3840 garrafas de vinho. Para a simulação foram considerados os parâmetros cinéticos obtidos para *Saccharomyces cerevisiae* Y-904 em estudos previamente relatados pela literatura. Com os resultados, o tempo de fermentação simulado foi menor do que o esperado e o custo operacional para a planta dimensionada superou a receita por ciclo produtivo, não gerando margem de lucro. Foi possível concluir que o volume de vinho a ser produzido deve ter como base uma corrente de entrada maior em termos de massa de uvas, além da necessidade de busca no mercado por equipamentos e insumos com menor custo, visando redução no tempo de retorno do investimento. Em relação à cinética reacional, fazem-se necessárias etapas futuras envolvendo estudos experimentais nas condições consideradas a fim de avaliar e elucidar o comportamento real da cepa face ao perfil obtido pela simulação. Uma vez que não foram encontrados estudos na literatura utilizando o simulador *SuperPro Designer*® para um processo de produção de vinho, este trabalho permitiu a identificação da ferramenta como meio de analisar a viabilidade técnica e econômica de uma planta.

## ABSTRACT

Due to the growth of Brazilian wine production and the rise of interest in enotourism related activities, studies about winemaking have shown to be more relevant. Regarding the availability of several grape strains, even amongst red, white and *rosé* wine, beverages with such unique characteristics can be found. Thus, this project aims to develop a boutique winery plant by using a simulator tool known as *SuperPro Designer*® using *Vitis vinifera Syrah* as the raw material. *SuperPro Designer*® made it possible to comprehend and analyze the whole winemaking process as an integrated one. At first, operational parameters were set for each equipment, such as its dimensions, scheduling, temperature, and the component ration of in and outflow streams. Once the simulation was finished, mass and volumetric flow rates of each stream of the processes were available for analysis, as well as the predicted time of the whole batch, the amount of manufactured wine bottles and the economical evaluation report. An input of 4.000 Kg of *Syrah* grapes per productive cycle was set as an initial condition. Moreover, the duration of the fermentative operation had its time set to 10 days to achieve a 12% v/v alcohol content in the finished wine, yielding around 3840 bottles of wine. Furthermore, *Saccharomyces cerevisiae* Y-904 kinetic parameters, which were previously obtained in past studies, were used to predict the yeast behavior defined by its growth rate and its capability of converting sugar into alcohol. Despite the well-functioning of the simulating tool, the time of fermentation achieved by the end of the simulation balances was shorter than expected, besides the fact that the operating cost of the scaled winery plant was higher than the revenues, therefore, providing no profit. Hence, beyond the need of a wider research for equipment and materials with lower purchase cost, in order to get a return on investment more quickly, it was assumed that the process should be scaled up for a larger amount of produced wine by setting a larger input of grapes. In regard to the kinetic issue faced with the outcomes of the fermentative step, future studies are suggested as an attempt to evaluate and elucidate the real microbial behavior. Lastly, this project was able to evaluate *SuperPro Designer*® as a reliable and efficient tool to evaluate the economical and technical viability of a small winery plant, once there are still no available studies with such as the same approach.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Cachos da uva <i>Syrah</i> .....	24
<b>Figura 2</b> Representação de possíveis variações de cores e tonalidades para vinhos brancos, rosados e tintos.....	28
<b>Figura 3</b> Diagrama de blocos do processo de produção de vinho .....	30
<b>Figura 4</b> Valores de volume (a) e valor monetário (b) do mercado mundial do vinho de 2001 a 2018.....	39
<b>Figura 5</b> Janela de registro de componentes e misturas necessárias para a simulação.....	45
<b>Figura 6</b> Caminhão.....	47
<b>Figura 7</b> Janela de registro da proporção dos compostos presentes na corrente de <i>Uvas</i> na entrada da Desengaçadeira.....	47
<b>Figura 8</b> Esteira.....	48
<b>Figura 9</b> Desengaçadeira.....	49
<b>Figura 10</b> Janela de registro do ajuste de composição das correntes de saída da desengaçadeira .....	49
<b>Figura 11</b> Pé de Cuba.....	50
<b>Figura 12</b> Janela de registro das operações utilizadas em P-4.....	51
<b>Figura 13</b> Fermentador.....	51
<b>Figura 14</b> Janela de registro dos ajustes operacionais de <i>FERMENT (Kinect)</i> . .....	52
<b>Figura 15</b> Janela de registro de dados reacionais da fermentação alcoólica.....	53
<b>Figura 16</b> Janela de registro do modelo cinético adotado e seus parâmetros. ....	54
<b>Figura 17</b> Janela de registro dos dados reacionais da fermentação malolática.....	55
<b>Figura 18</b> Tanque de maturação.....	56
<b>Figura 19</b> Envase .....	56
<b>Figura 20</b> Rotulagem .....	57
<b>Figura 21</b> Regressão linear para cálculo do número de dornas .....	61

- Figura 22** Variação de concentração de componentes ao longo do processo fermentativo –  
(a)  $\mu_{\max} = 0,157 \text{ h}^{-1}$  e  $K_s = 19980 \text{ mg.L}^{-1}$  (b)  $\mu_{\max} = 0,0517 \text{ h}^{-1}$  e  $K_s = 4943 \text{ mg.L}^{-1}$  .....66
- Figura 23** Janela de registro da estimativa do Capital de investimento pelo simulador  
*SuperPro Designer*® ..... 69
- Figura 24** Janela de registro da estimativa do custo operacional referentes às instalações .... 71

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> Definição do vinho de acordo com sua classe.....	26
<b>Quadro 2</b> Variação de tonalidades das cores dos vinhos brancos, rosados e tintos. ....	27
<b>Quadro 3</b> Teor de açúcares totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) em vinhos espumantes.....	29
<b>Quadro 4</b> Principais países exportadores de vinho e respectivas participações no mercado em termos de volume e de valor nos anos de 2017 e 2018.....	39
<b>Quadro 5</b> Valores mundiais de produção de vinho.....	40
<b>Quadro 6</b> Consumo mundial de vinho em 2017 e 2018 .....	41
<b>Quadro 7</b> Produção de uvas por estados, em toneladas, entre 2015 e 2018. ....	42
<b>Quadro 8</b> Produção, em litro, de vinho, suco e derivados no Rio Grande do Sul de 2015 a 2018.....	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Dados para cálculos de número de dornas .....	60
<b>Tabela 2</b> Teor de açúcares totais ( $\text{g.L}^{-1}$ ) de acordo com a classe do vinho.....	65
<b>Tabela 3</b> Preço dos materiais utilizados para a produção de vinho .....	67
<b>Tabela 4</b> Preço dos equipamentos utilizados para a produção de vinho.....	67
<b>Tabela 5</b> Custo de mão de obra por hora .....	68
<b>Tabela 6</b> Custo operacional da planta .....	70
<b>Tabela 7</b> Dados de tempo e produção da planta.....	70
<b>Tabela 8</b> Capital de investimento necessário para planta .....	72
<b>Tabela 9</b> Balanço econômico geral do processo. ....	72
<b>Tabela 10</b> Balanço econômico geral para um processo com dois ciclos produtivos com 4.000 Kg de entrada de uva para cada .....	73
<b>Tabela 11</b> Balanço econômico geral para um processo com 12.000 Kg de entrada de uva ...	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**a.C.:** Antes de Cristo;

**AISI:** *American Iron and Steel Institute*;

**CIP:** *Clean in place*;

**DFC:** *Direct Fixed Capital*;

**Embrapa:** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

**HDL:** Lipoproteína de alta densidade;

**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

**LDL:** Lipoproteína de baixa densidade;

**OIV:** *International Organisation of Vine and Wine*;

**RS:** Rio Grande do Sul.

## NOMENCLATURA MATEMÁTICA

- a:** Fator de economicidade;
- bar:** Unidade de pressão bar;
- ° **Brix:** Escala numérica de índice de refração de luz;
- ° **C:** Grau Celsius;
- D:** Dornas de fermentação;
- De:** Número econômico de dornas;
- g:** Grama;
- g.L<sup>-1</sup>:** Grama por litro;
- h:** Hora;
- h/batelada:** Hora por batelada;
- Kg:** Quilograma;
- Kg/batelada:** Quilograma por batelada;
- (Kg/h)/m:** Quilograma por hora por metro;
- Kg.L<sup>-1</sup>:** Quilograma por litro;
- Kg.mol<sup>-1</sup>:** Quilograma por mol;
- L:** Litro;
- L/batelada:** Litro por batelada;
- m:** Metro;
- m<sup>3</sup>:** Metros cúbicos;
- m EUR:** Milhões de Euros;
- mg.L<sup>-1</sup>:** Miligrama por litro;
- mhL:** Milhões de hectolitro;
- mL:** Mililitro;
- pH:** Potencial hidrogeniônico;
- p/v:** Relação massa/volume;
- %:** Percentual;
- R\$:** Real;
- S:** Concentração de substrato (g.L<sup>-1</sup>);
- t:** Tempo
- tr:** Tempo de fermentação;
- ts:** Tempo de transferência;
- unid.:** Unidade;

**U\$:** Dólar;

**U\$:** Dólar por ano;

**U\$/garrafa:** Dólar por garrafa;

**U\$/h:** Dólar por hora;

**U\$/Kg:** Dólar por quilograma;

**U\$/KW-h:** Dólar por quilograma hora;

**U\$/m<sup>3</sup>:** Dólar por metro cúbico;

**U\$/MT:** Dólar por megatonelada;

**U\$/unid.:** Dólar por unidade;

**v/v:** Relação volume/volume;

**X:** Concentração de células (g.L<sup>-1</sup>).

### **Letras Gregas**

**$\alpha$ :** Parâmetro de formação de produto associado ao crescimento microbiano (g/g);

**$\beta$ :** Parâmetro de formação de produto não associado ao crescimento microbiano (g/g);

**$K_s$ :** Constante de saturação;

**$\mu$ :** Taxa específica de crescimento;

**$\mu_{max}$ :** Taxa específica de crescimento máxima.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	20
<b>1.1.1 OBJETIVO GERAL</b> .....	20
<b>1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	20
<b>1.2 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO</b> .....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	21
<b>2.1 HISTÓRICO</b> .....	21
<b>2.2 MATÉRIA-PRIMA</b> .....	22
<b>2.3 TIPOS DE VINHO</b> .....	25
<b>2.3.1 CLASSE</b> .....	25
<b>2.3.2 COR</b> .....	26
<b>2.3.3 TEOR DE AÇÚCAR</b> .....	28
<b>2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO</b> .....	29
<b>2.4.1 PRODUÇÃO DE VINHO TINTO</b> .....	31
<b>2.4.2 PRODUÇÃO DE VINHO BRANCO</b> .....	34
<b>2.4.3 PRODUÇÃO DE VINHO <i>ROSÉ</i></b> .....	35
<b>2.5 FERMENTAÇÃO</b> .....	36
<b>2.6 ASPECTOS MERCADOLÓGICOS</b> .....	38
<b>3 METODOLOGIAS</b> .....	44
<b>3.1 <i>SUPERPRO DESIGNER®</i></b> .....	44
<b>3.1.1 EQUIPAMENTOS E OPERAÇÕES</b> .....	44
<b>3.2 CÁLCULO DE DORNAS</b> .....	57
<b>3.3 MODELO CINÉTICO</b> .....	57
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	60
<b>4.1 NÚMERO DE FERMENTADORES</b> .....	60
<b>4.2 BALANÇO DE MASSA FERMENTATIVO</b> .....	61



<b>4.3 BALANÇOS DE MASSA E CORRENTES .....</b>	<b>62</b>
<b>4.4 ANÁLISE DO PROCESSO .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4.1 SIMULADOR .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4.2 PARÂMETROS CINÉTICOS .....</b>	<b>64</b>
<b>4.4.3 ANÁLISE ECONÔMICA.....</b>	<b>67</b>
<b>4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>74</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE I – BALANÇOS DE MASSA E CORRENTES.....</b>	<b>82</b>
<b>APÊNDICE II - FLUXOGRAMA DO PROCESSO .....</b>	<b>92</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As uvas são frutas que possuem concentrações ideais de açúcares, ácidos e taninos capazes de suportar o crescimento de leveduras. Nesse sentido, permite-se uma fermentação adequada para obtenção de uma bebida com teor de álcool suficiente para armazenamento, envelhecimento e transporte da mesma ao redor do mundo (KATZ, 2012). Dessa forma, o vinho pode ser simplesmente definido como uma bebida alcoólica fermentada a partir do mosto da uva (BRAGA; ALZER, 2015).

A grande variedade de vinhos se dá não apenas pela diversidade de uvas ao redor do mundo, mas por meio da tecnologia aplicada ao processo. Desde vinhos mais comuns a finos, são utilizadas as uvas americanas, europeias, da variedade *Vitis viníferas*, e até mesmo híbridas (GUERRA; MANDELLI; TONIETTO; ZANUS; CAMARGO, 2005).

O vinho é uma bebida muito conhecida por seus benefícios nutricionais. O consumo moderado é capaz de ajudar na digestão por ser rico em vitamina B, além de fornecer nutrientes fundamentais, como cálcio, potássio e magnésio (FARIAS, 2016). Além disso, o resveratrol e a procianidina presentes no vinho tinto estimulam a produção de lipoproteínas de alta densidade (HDL) e inibem a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (LDL) (SOLEAS; DIAMANDIS; GOLDBERG, 1997).

Entre tantos, os benefícios cardiovasculares são um dos mais abordados. No século passado, por exemplo, observou-se que entre dezoito países ocidentais, o número de casos de infarto do miocárdio era cinco vezes menor na França e na Itália, onde havia um maior consumo de vinho (BRAGA; ALZER, 2015).

No Brasil, a prática da vitivinicultura ocorre majoritariamente em sete estados, sendo eles Rio Grande do Sul (RS), São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná, Pernambuco e Bahia (BRAGA; ALZER, 2015). O RS, tido como maior produtor brasileiro de uva e vinho, é reconhecido por duas regiões principais, a Campanha Gaúcha e a Serra Gaúcha, responsável por 90% dos vinhos finos brasileiros e destino dos colonizadores italianos em 1870. Em São Paulo, São Roque e Jundiaí são os principais centros produtores de vinho (BRAGA; ALZER,

2015) e, na região Nordeste, o Vale do Submédio São Francisco (GUERRA; MANDELLI; TONIETTO; ZANUS; CAMARGO, 2005).

A atividade vitivinícola tem sido uma importante fonte de renda em pequenas propriedades, além da geração de empregos e renda no país (MELLO, 2019). Com o aumento do mercado de vinho e do grande consumo local de importados, os produtores nacionais passaram a buscar maior competitividade por meio da melhoria da qualidade de seus produtos. Investiu-se fortemente, assim, no estudo e aplicação de práticas compatíveis ao clima e terreno locais (MACNEIL, 2003).

Acompanhado desse crescimento, constata-se uma tendência do mercado consumidor atual: a valorização de uma experiência. Nesse sentido, o consumidor demonstra atualmente maior interesse por um produto de caráter mais artesanal e de qualidade. Segundo Mauro Zanus, chefe-geral da Embrapa Uva e Vinho, os vinhos artesanais brasileiros têm maior potencial de destaque no mercado por ter um processo de obtenção mais peculiar e valorizado pelo setor de produção (CIRILLO, 2018).

Impulsionado pelo consumo de vinho, o enoturismo torna-se cada vez mais comum, sendo referência em países como a Argentina, Itália e França; no Brasil, por sua vez, a prática tornou-se mais comum nos últimos anos (MARQUES, 2013). Conforme a pesquisa do *Brasil Food Trends 2020* realizada pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, a confiança e o conhecimento sobre as marcas representam 59% das razões citadas pelos consumidores no momento de compra de um alimento industrializado (VIAITA; COSTA; SARANTÓPOULOS, 2010).

Diante do potencial produtor do Brasil pela sua diversidade climática e de solo, dos benefícios para saúde e do maior consumo e interesse social pelo processo produtivo de vinhos, o presente trabalho, a partir dos fundamentos da Engenharia Química e Bioquímica, apresentará a simulação computacional de uma planta com auxílio do *SuperPro Designer*®, uma ferramenta que permite e facilita não apenas a visualização e avaliação do processo integrado, como novas análises em caso de adequações e a comparação entre projetos (PAL; SILETTI; PETRIDES, 2008).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Projetar uma planta para a produção de vinho a partir de uvas *Syrah* em pequena escala, utilizando o simulador *SuperPro Designer*®.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral, a partir dos dados da literatura, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- i. Selecionar a matéria-prima;
- ii. Definir os equipamentos e operações da planta;
- iii. Apresentar uma proposta de fluxograma do layout da planta;
- iv. Realizar a análise econômica preliminar da planta proposta.

## **1.2 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO**

O presente trabalho é estruturado em cinco capítulos. Além do presente capítulo, em que é feita uma breve contextualização e são apresentados os objetivos, o capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica onde é apresentado o estado da arte da produção vinícola, abordando aspectos do processo e de mercado. No capítulo 3 é descrita a metodologia utilizada para a escolha dos parâmetros de processo e para a realização da simulação e no capítulo seguinte são discutidos os resultados obtidos. No capítulo 5 são apontadas, por fim, as conclusões do estudo realizado. Ao final são listadas as referências citadas que embasaram todo o trabalho. Ainda faz parte do documento dois apêndices, um contendo as tabelas dos balanços mássicos do simulador e um com o fluxograma completo da planta proposta.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRICO

Uma vez que processos naturais de fermentação podem se dar a partir de frutas com determinados teores de açúcar, água e ácidos, a presença de bebidas alcoólicas fermentadas foi vista com grande relevância ao longo da história (ESTREICHER, 2017). No caso do vinho, o primeiro registro histórico que evidencia seu consumo nas antigas civilizações data de aproximadamente 5400-5000 a.C. (SOLEAS; DIAMANDIS; GOLDBERG, 1997). A bebida, por sua vez, passou a apresentar uma grande carga simbólica e cultural que permeia momentos cotidianos até os dias atuais, estando presente em circunstâncias simples como uma pequena refeição em casa, em cerimônias religiosas ou até mesmo em grandes celebrações festivas (BRAGA; ALZER, 2015).

Entre os anos de 1956 e 1977, ao longo de expedições realizadas no sítio arqueológico neolítico de Hajji Firuz no Iran, encontraram-se vasos de argila contendo traços de sais e ácido tartárico a concentrações que indicavam que eram recipientes para armazenamento de vinhos. Além desse fato, verificou-se que as paredes desses recipientes continham resina da árvore terebinto, a qual era bastante usada em jarras de vinho pelos Romanos com o objetivo de preservá-lo devido à capacidade da resina de inibir o crescimento de microrganismos indesejáveis para a bebida (ESTREICHER, 2017).

A trajetória do vinho e da vitivinicultura tem evidências históricas de ter se iniciado há cerca de 8000 anos a.C. na região Cáucaso Sul, onde se encontram a Armênia, Geórgia e Azerbaijão. Com os anos, a prática da vitivinicultura se expandiu, alcançando os povos fenícios por volta dos anos de 4000 a.C., tornando-se grandes exportadores de vinhos da época. O registro mais antigo da presença de vinho no Egito é de 3150 a.C., em uma tumba contendo 700 jarras, das quais 47 apresentavam sementes de uva. Por outro lado, o registro mais antigos dos povos gregos foi de 2200 a.C. (ESTREICHER, 2017).

Os vinhos foram levados pela primeira vez para a Europa ocidental pelos fenícios por volta do ano de 800 a.C. para a região sul da Espanha. Entretanto, a vitivinicultura somente se disseminou por essa região quando Julius Cesar direcionou as Legiões romanas para a mesma, permitindo que os romanos estabelecessem cultivos de uvas *Vitis Vinifera* pelas áreas de Bordeaux, norte da França, oeste da Alemanha e sul da Inglaterra (ESTREICHER, 2017).

A chegada dessa bebida ao Continente americano ocorreu somente a partir do período das Grandes Navegações, por volta dos anos 1500 (ESTREICHER, 2017). Portanto, a história do vinho no Brasil iniciou-se no século XVI com a vinda de Brás Cubas, reconhecido como o primeiro a cultivar a vinha no país. Em 1626, em meio a uma missão jesuíta, houve o primeiro registro histórico da cultura da videira, no estado do Rio Grande do Sul, como forma de demarcação de território e criação de comunidades estáveis a fim de facilitar a catequese. De forma oficial, em 1813, o açoriano Manoel de Macedo Brum da Silveira foi decretado o primeiro a plantar a videira e produzir o vinho na antiga capitania de Rio Grande. Aproximadamente 60 anos depois, iniciou-se o grande impulso da vitivinicultura rio-grandense e brasileira, apoiada pela colonização italiana no Sul (BRAGA; ALZER, 2015).

Os imigrantes italianos naturais das zonas vinícolas de Vêneto e Trentino foram fundamentais para o crescimento da produção de vinho no Brasil (MACNEIL, 2003). No final do século XVIII, já haviam sido introduzidas as primeiras videiras americanas no país, como a Cape (BRAGA; ALZER, 2015). Contudo, após a colonização e a produção a partir de uvas viníferas europeias, que deram origem a vinhos com características diferentes dos europeus, novas variedades americanas e híbridas foram introduzidas no mercado brasileiro. Inicialmente, foram cultivadas as uvas tintas e brancas mais comuns (MACNEIL, 2003).

No século seguinte, com a chegada das multinacionais e o desenvolvimento e investimento em tecnologia, a qualidade e a produtividade do cultivo se tornaram maiores (BRAGA; ALZER, 2015). Assim, a partir de 1970, foram introduzidas as uvas viníferas europeias mais nobres (MACNEIL, 2003). Dessa forma, com o avanço de estudos e consequente crescimento do mercado de vinho, surgiram cada vez mais empresas familiares no Brasil junto à formação de uma nova geração de enólogos e o início do agro turismo (BRAGA; ALZER, 2015).

## **2.2 MATÉRIA-PRIMA**

As principais videiras na vitivinicultura brasileira são as europeias e americanas, que pertencem ao gênero *Vitis*, e as híbridas. As pertencentes a *Vitis vinífera* são as uvas para produção dos vinhos de maior qualidade. No Brasil, estão entre as mais cultivadas a *Cabernet Franc*, *Cabernet Sauvignon* e *Merlot*, as quais se adaptaram melhor a Serra Gaúcha para produção de vinhos tinto, e a *Chardonnay*, para produção de vinhos branco (MACNEIL, 2003). As americanas, por sua vez, são as mais cultivadas devido a melhor adaptação ao

clima úmido brasileiro e à resistência a pragas, além de serem mais rústicas. Na produção de vinhos mais comuns, tem-se a *Herbemont* e *Jacquez* como principais, variedades de *Vitis bourquina*, e a Isabel, variedade da *Vitis labrusca* (BRAGA; ALZER, 2015).

As conhecidas como videiras híbridas são originadas do cruzamento de duas castas diferentes e apresentam qualidade maior que as americanas para vinificação, sendo ainda mais resistentes a pragas (BRAGA; ALZER, 2015). Um exemplo é a uva *Syrah*, ou *Shiraz*, que foi obtida a partir das uvas *Dureza* e *Mondeuse Blanche* (BORGES, 2016) e uma das que apresentou melhor adaptação no Nordeste do Brasil (MACNEIL, 2003).

Os vinhos podem ser classificados conforme coloração, influenciada pela variedade da uva utilizada como matéria-prima, tinta ou branca, e o processo. Entre os principais componentes dessa fruta, estão os açúcares e a água, sendo este último o mais abundante e fundamental para as reações que ocorrem ao longo de seu desenvolvimento. Quanto aos açúcares, os principais são a glicose e a frutose, com uma concentração total de, em média, 23% p/v, o que corresponde a uma parte majoritária dos sólidos solúveis, visto a concentração acima de 18% p/v. Além desses, os polissacarídeos também são compostos presentes na uva, os quais são extraídos durante a prensagem e, com isso, o vinho final apresenta baixos percentuais (SOLEAS; DIAMANDIS; GOLDBERG, 1997).

A coloração dos vinhos se dá pela extração do pigmento da casca da uva. No processo de fermentação da tinto, o etanol, produto da fermentação dos açúcares, é um dos solventes responsáveis por essa extração, além da de polifenóis taninos. A doçura característica de cada tipo de vinho é influenciada não só pela concentração de açúcares, mas também pelo álcool, ácidos e os polifenóis taninos presentes. Além disso, o alto percentual de açúcar pode interferir na volatilidade dos compostos aromáticos, responsáveis pelo aroma do vinho (SOLEAS; DIAMANDIS; GOLDBERG, 1997).

O desenvolvimento da uva é fundamental para a qualidade da bebida, contudo, a necessidade de água, radiação, calor, e condições de solo e clima adequados variam de acordo com o tipo da uva. A variação das condições climáticas durante os anos, inclusive, pode interferir nas características do vinho, que podem apresentar diferenças de cor, por exemplo, quando originados por safras diferentes de uma mesma uva (GUERRA; MANDELLI; TONIETTO; ZANUS; CAMARGO, 2005).

A *Syrah*, de origem francesa, é uma uva de casca escura com espessura média bastante resistente, sensível à falta de água e com ramos sensíveis à ação de ventos fortes. O vinho tinto produzido a partir dela apresenta um sabor encorpado com aspecto rubi violáceo, ou granada muito escuro, impenetrável e brilhante, e aroma de amora, groselha negra, pimenta e especiarias (BORGES, 2016). Durante o processo produtivo, o envelhecimento pode ser feito em barricas de carvalho, que lhe acrescentam baunilha, alcaçuz, cravo e cedro (BORGES, 2016) além de ser rica em taninos (WINE, 2017).

O cultivo da uva *Syrah* é dado por uma tardia brotação, um curto período de amadurecimento e uma colheita tardia. Dado seu alto rendimento, a poda longa torna-se a mais adequada (WINE, 2017).



**Figura 1** Cacho da uva *Syrah*

**Fonte:** DANESI (2004).

Segundo o levantamento *Distribution of the world's grapevine varieties* realizado pela OIV, *International Organisation of Vine and Wine*, em 2017, entre os anos de 2000 e 2015 houve um aumento na área dedicada ao cultivo da uva *Syrah* destinado a produção do vinho, com crescimento em 31 países, sendo o rendimento desse cultivo entre três e oito toneladas por hectare plantado (WINE, 2017).



## **2.3 TIPOS DE VINHO**

A classificação dos vinhos, presente nos rótulos, consiste em três categorias: classe, cor e teor de açúcar (BRASIL, 2004), descritas nos tópicos 2.3.1, 2.3.2 e 2.3.3 conforme legislação brasileira.

### **2.3.1 CLASSE**

O vinho, quanto à classe, pode ser definido em: de mesa, leve, fino, espumante, frisante, gaseificado, licoroso ou composto, de acordo com o Quadro 1 (BRASIL, 2004).

**Quadro 1:** Definição do vinho de acordo com sua classe.

Classe	Teor alcoólico (% v/v)	Pressão a 20 °C (atm)	Observações
De mesa	8,6 - 14,0	até 1,0	Produzido a partir de <i>Vitis vinífera</i> , uva americana ou híbrida
Leve	7,0 - 8,5	até 1,0	Produzido a partir da fermentação natural da uva
Fino	8,6 - 14,0	até 1,0	Produzido exclusivamente a partir de <i>Vitis vinífera</i>
Espumante	10,0 - 13	mínimo 4,0	Segunda fermentação ocorre na garrafa (método <i>Champenoise</i> /tradicional) ou em tanques (método <i>Chausspied/Charmad</i> )
Moscatel espumante	7,0 - 10,0	mínimo 4,0	Contém mínimo de 20 gramas de açúcar remanescente
Frisante	7,0 - 14,0	1,1 - 2,0	Natural ou gaseificado
Gaseificado	7,0 - 14,0	2,1 - 3,9	Introdução de anidrido carbônico puro
Licoroso	14,0 - 18,0	até 1,0	Adição de álcool etílico potável de origem agrícola, mosto concentrado, caramelo, mistela simples, açúcar ou caramelo de uva na produção
Composto	14,0 - 20,0	até 1,0	Mínimo de 70% de vinho de mesa, havendo adição de macerados ou concentrados de plantas amargas ou aromáticas, e/ou de substâncias de origem animal ou mineral ao vinho de mesa. Pode-se utilizar álcool etílico potável de origem agrícola, açúcar, caramelo e mistela simples

**Fonte:** BRASIL (2004).

### 2.3.2 COR

Em relação à cor, os vinhos são classificados em tinto, branco e rosado ou *rosé* (BRASIL, 2004). Dependendo do tempo de maceração entre as cascas e o mosto de vinhos tintos ou rosados, a intensidade da coloração da bebida pode variar. Além disso, deve-se destacar que a tonalidade também pode variar de acordo com a evolução dessa bebida, conforme observado no Quadro 2. No caso dos vinhos brancos, seus tons variam de acordo

com o espectro do amarelo, enquanto os tintos e *rosés* com o do vermelho (BORGES, 2016). A Figura 2 representa variação de cores e tonalidades possíveis para os vinhos.

**Quadro 2:** Variação de tonalidades das cores dos vinhos brancos, rosados e tintos.

<b>COR</b>	<b>Características</b>
<b>BRANCO</b>	
Incolor, cristalino, esverdeado	Vinho muito jovem, sem qualquer oxidação
Amarelo-palha-claro	Vinho jovem, vinificado em inox, não oxidado
Amarelo-palha	Vinho pronto, fresco
Amarelo-ouro	Vinho evoluído ou com passagem por madeira
Ouro velho	Vinho maduro ou envelhecido
Âmbar, castanho, marrom	Muito envelhecido, oxidado
<b>ROSÉ</b>	
Pele de cebola	Diferenças de tonalidade e intensidade de vinhos rosados são determinadas por seu estilo e método de elaboração, pois costumam ser relacionados ao consumo de curto prazo. Sinais indesejados de oxidação e evolução conferem coloração mais alaranjada ao vinho
Rosa	
Cereja	
Salmão	
Cobre	
<b>TINTO</b>	
Púrpura	Vinho recém elaborado ou muito jovem
Rubi	Primeira etapa de amadurecimento após fase púrpura
Granada	Vinho próximo ao grau ideal de maturidade
Tijolo ou telha	Vinho em plena maturidade após conservação adequada

**Fonte:** Adaptado de BORGES (2016).



**Figura 2:** Representação de possíveis variações de cores e tonalidades para vinhos brancos, rosados e tintos.

**Fonte:** Adaptado de FOLLY (2020).

### 2.3.3 TEOR DE AÇÚCAR

Os vinhos, quanto ao teor de açúcar, são classificados em *Nature*, *Extra-brut*, *Brut*, *Seco*, *Sec* ou *Dry*, *Meio doce*, *Meio seco* ou *Demi-sec*, *Suave* ou *Doce* (BRASIL, 2004).

Contudo, essas nomenclaturas estão relacionadas a cada tipo de vinho quanto a classe, conforme o Quadros 3 (BRASIL, 2014).

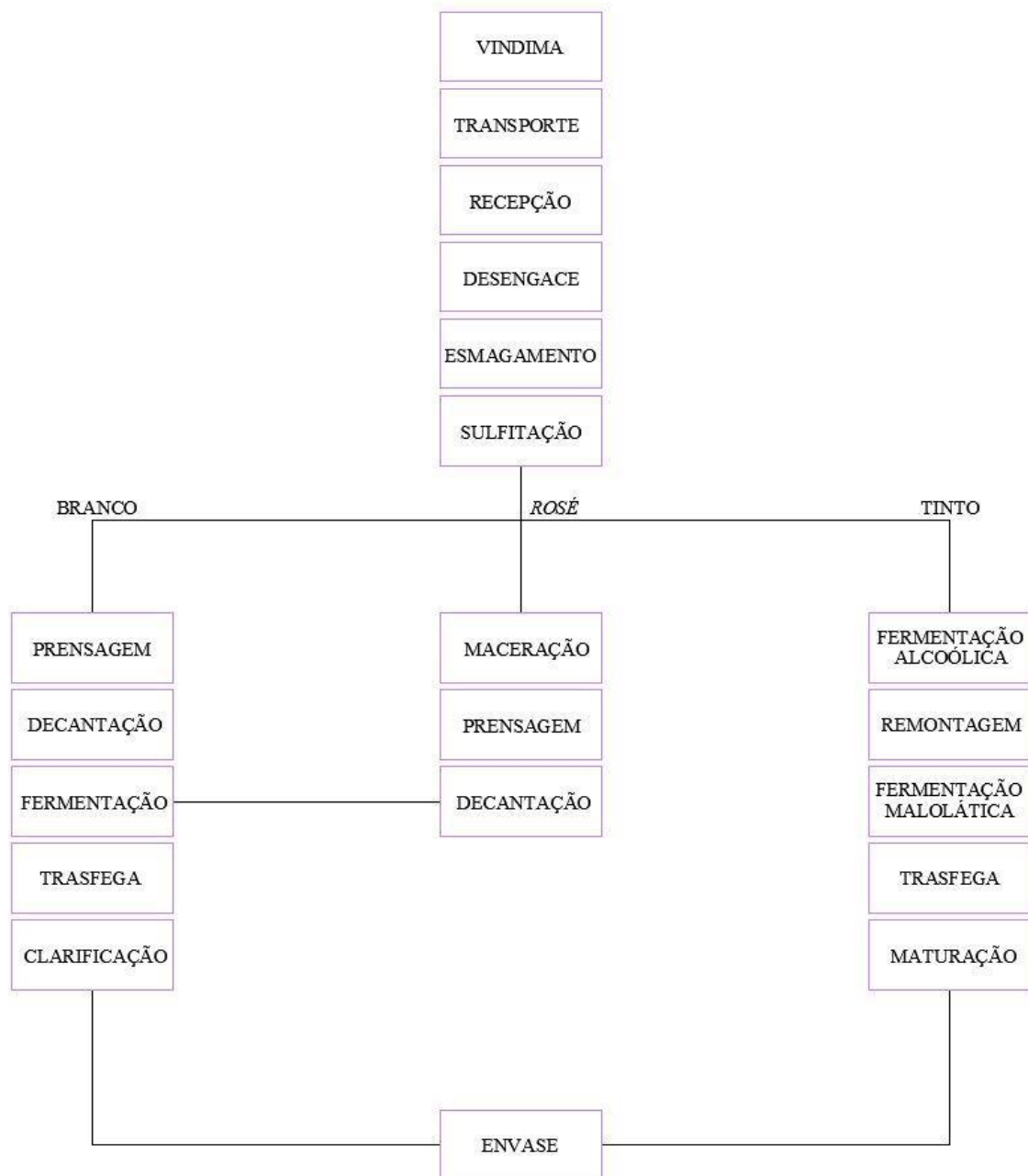
**Quadro 3:** Teor de açúcares totais (g.L<sup>-1</sup>) de acordo com a classe do vinho.

CLASSE	Mínimo	Máximo
<b>Fino/de mesa/leve/frisante</b>		
Seco	-	4,0
Meio seco ou <i>Demi-sec</i>	4,1	25,0
Doce ou Suave	25,1	80,0
<b>Espumante</b>		
<i>Nature</i>	-	3,0
<i>Extra-brut</i>	3,1	8,0
<i>Brut</i>	8,1	15,0
Seco ou <i>Sec</i>	15,1	20,0
Meio seco, Meio doce ou <i>Demi-sec</i>	20,1	60,0
Doce	60,1	-
<b>Gaseificados</b>		
Seco	-	20,0
Meio seco ou Meio doce	20,1	60,0
Doce	60,1	-
<b>Licorosos</b>		
Seco	-	20,0
Doce	20,1	-
<b>Compostos</b>		
Seco ou <i>Dry</i>	-	40,0
Meio seco ou Meio doce	40,1	80,0
Doce	80,1	-

**Fonte:** BRASIL (2014).

## 2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO

Na produção de vinho, o processo se diferencia para cada tipo de uva. Algumas etapas são comuns aos vinhos branco, *rosé* e tinto. Contudo as diferenças de processo são fundamentais para a obtenção de características únicas de cada um (BORTOLETTO; ALCARDE; CARAZZATO; MENDONÇA; FILHO, 2015). A Figura 3 destaca as etapas do processo de produção dos vinhos tinto, *rosé* e branco.



**Figura 3:** Diagrama de blocos das etapas envolvidas no processo de produção de vinhos tinto, *rosé* e branco.

**Fonte:** Adaptado de BORTOLETTO; ALCARDE; CARAZZATO; MENDONÇA; FILHO (2015).

## 2.4.1 PRODUÇÃO DE VINHO TINTO

A colheita das uvas, após o cultivo adequado conforme a variedade, pode ocorrer de forma mecânica ou manual. Para a determinação do momento adequado, utiliza-se o mostímetro, um instrumento responsável por medir a concentração média de açúcar das uvas em lugares distintos da vinícola. Uma vez alcançado o teor de açúcares desejado, inicia-se a vindima e as uvas são transportadas para a cantina, onde se dá início ao processo produtivo do vinho.

Inicialmente, as uvas são selecionadas, pesadas e classificadas quanto ao tipo para seguirem para o processo de desengaçamento. Durante esta etapa, é realizada a remoção dos engaços dos cachos de uva com auxílio de uma máquina chamada de desengaçadeira. Os bagos também sofrem o rompimento durante a passagem por esse equipamento de forma a não terem suas sementes esmagadas e, assim, evitando possível amargor no resultado final do vinho.

Em seguida, a realização do esmagamento, permite a retirada da polpa da uva e promove seu contato com as cascas, nas quais se encontram grande parte das leveduras autóctones, indispensáveis para a etapa de fermentação. Ao contrário do método utilizado no passado, de se pisar nas uvas em lagares para extrair seu suco, atualmente, esta etapa costuma estar associada à desengaçadeira ou pode ser realizada com o uso de prensas de diversos tipos, como as prensas de rolo, prensas descontínuas providas de hélices e prensas pneumáticas (BRAGA; ALZER, 2015).

Em seguida, adiciona-se dióxido de enxofre ao mosto para que se possa dar início ao processo fermentativo. A adição de SO<sub>2</sub>, também conhecida como sulfitação, é reportada desde o fim do Século 18 com o objetivo principal de controle de atividade microbiana tanto ao longo da fermentação como durante o envelhecimento dos vinhos nas garrafas (RIBEREAU-GAYON; DUBOURDIEU; DONÈCHE; LONVAUD, 2006).

O processo fermentativo se dá a partir da transformação dos açúcares disponíveis na uva em álcool por meio da atividade metabólica das leveduras (MACNEIL, K, 2013). Naturalmente, existem leveduras presentes nas cascas das uvas capazes de realizar a fermentação do mosto, contudo o uso exclusivo das mesmas pode tornar o processo um pouco mais difícil de ser controlado. Nesse sentido, costuma-se adicionar leveduras de cepas cultivadas ao mosto, as quais possuem comportamento mais previsível e permitem melhor

controle do processo em si e, conseqüentemente, do produto obtido. Alguns produtores podem optar por utilizar essas leveduras para acentuar ou adicionar ao vinho os aromas e sabores característicos da casta da uva utilizada (JOHNSON et al., 2014).

Durante a fermentação também ocorre liberação de dióxido de carbono. Devido à formação do gás, as cascas das uvas presentes no mosto acabam sendo elevadas e retidas no topo do vinho, formando o que é conhecido no jargão industrial como “chapéu”. Entretanto, as cascas devem permanecer sempre em contato com todo o vinho para que não haja perda de algumas de suas características essenciais como taninos, aromas e sabores. Dessa forma, são realizadas algumas técnicas para manter esse contato. O operador pode realizar a mistura do meio com auxílio de uma vara ou uma placa mecânica em certos intervalos de tempo (MACNEIL, K, 2013). Em caso de grande quantidade, por sua vez, pode-se promover a “Remontagem” em que se bombeia com um tubo flexível o líquido do fundo do fermentador para seu topo desfazendo e misturando o “chapéu”. Além de garantir a manutenção de características do vinho, esses processos de mistura ajudam a diminuir a taxa de acetificação superficial do vinho no reator, garante maior homogeneização do meio e reduz a quantidade excessiva de gás carbônico presente (BRAGA; ALZER, 2015).

O controle da temperatura durante a fermentação também é indispensável para um vinho de boa qualidade. No caso dos vinhos tintos, a temperatura ideal deve permanecer em torno de 26°C a 28°C, evitando que se alcance uma “temperatura de estresse” a partir de 30°C, em que ocorre uma formação excessiva de ésteres indesejados para o vinho (BRAGA; ALZER, 2015).

Em alguns casos, pode-se realizar correções do mosto durante a fermentação. Dependendo de variáveis como o comportamento climático da região durante a safra da uva, por exemplo, ela pode não apresentar uma concentração de açúcares suficiente para se alcançar o teor alcoólico desejado do vinho. Nesse caso, promove-se o processo de “Chaptalização”, ou seja, a adição de açúcar no mosto (JOHNSON et al., 2014). Em outras situações também pode haver a adição de ácido tartárico ao mosto para corrigir a acidez do meio dependendo do nível de maturação da uva colhida (BRAGA; ALZER, 2015).

Uma forma de suavizar o alto teor de acidez dos vinhos tintos é por meio da fermentação malolática. Após a fermentação principal, usualmente de vinhos tintos, esta segunda fermentação permite a transformação do ácido málico presente no vinho em ácido



lático, mais suave e agradável ao paladar do consumidor, produzindo o que é chamado de um vinho mais macio (BRAGA; ALZER, 2015).

Assim que os processos de fermentação chegam ao fim, deve ser realizada lentamente a etapa de *trasfega* para separar o vinho dos sólidos depositados no fundo do recipiente (BRAGA; ALZER, 2015). Em seguida, quando desejado, pode ocorrer a etapa de clarificação a fim de remover resíduos e impurezas da bebida. Quando realizada uma clarificação mecânica, utilizam-se centrífugas e etapas de filtração para eliminar as impurezas. Uma outra opção é a adição de agentes clarificantes (clara de ovo, gelatina, cola de peixe), permitindo que haja a coagulação e precipitação de partículas indesejadas (MACNEIL, K, 2013). Contudo, a etapa de clarificação é recomendada principalmente para os vinhos brancos, devido a sua coloração (PRODANOV; AZNAR; CABELLOS; VACAS; LÓPEZ; HERNÁNDEZ; ESTRELLA, 2019).

Os sólidos remanescentes da etapa de *trasfega* podem ser transferidos para uma prensa vertical para se extrair o máximo de suco possível, dando origem ao “vinho prensado”. Este, por sua vez, apresenta características muito mais influenciadas pelos taninos das cascas das uvas e assim, em algumas regiões mais quentes, pode ser misturado ao vinho não prensado para adicionar mais estrutura ao mesmo (JOHNSON et al., 2014).

Depois dos processos de estabilização do vinho, este entra em uma fase de amadurecimento, conhecido como *maturação*, em recipientes de aço, cimento ou madeira. O recipiente ideal para o afinamento do vinho é a barrica bordalesa de carvalho francês com capacidade de 225 litros. Barricas de carvalho americanas também passaram a ser mais amplamente utilizadas; porém, a preferência de muitos produtores segue pelo carvalho francês a fim de manter um certo padrão de qualidade. A origem da barrica, por sua vez, determina como será a oxigenação do vinho durante seu período de amadurecimento devido à diferença de porosidade de cada tipo de carvalho. Assim, uma vez que os processos oxidativos são favorecidos nesta etapa, o vinho sofre diversas transformações organolépticas (BRAGA; ALZER, 2015).

Após engarrafamento, dá-se início à fase de envelhecimento do vinho na garrafa. Neste momento, em uma atmosfera com mínima concentração de oxigênio, há ainda transformações de cor, sabores e aromas devido a alterações das antocianinas. (MACNEIL, K, 2013).

## 2.4.2 PRODUÇÃO DE VINHO BRANCO

Ao contrário do vinho tinto, há uma maior complexidade para produção de vinhos brancos de forma a se obter um produto de boa qualidade, o que acaba demandando o maior emprego de tecnologias (BRAGA; ALZER, 2015). Assim que as uvas brancas são desengaçadas, o produtor pode escolher por retardar processos oxidativos por meio do resfriamento das uvas ou pela adição de dióxido de enxofre (JOHNSON et al., 2014). A prensa horizontal é a mais utilizada e é normalmente executada com auxílio de prensa pneumática, dotada de uma membrana interna que se dilata e pressiona as uvas contra as claraboias (DANESI, 2004). Um importante objetivo de se utilizar este tipo de prensa é para evitar que as sementes se rompam e, assim, evitar o contato de taninos com o mosto. Realizam-se duas prensagens com um aumento do gradiente de pressão para a retirada de todo sumo da uva restante. Contudo, antes da prensagem, extrai-se naturalmente o “mosto-flor” a partir do peso das uvas empilhadas, que representa 60% do volume total. O mosto obtido por meio da prensa não possui o mesmo padrão de qualidade do primeiro e, portanto, não são misturados (BRAGA; ALZER, 2015). Em seguida, o mosto recolhido é encaminhado para uma etapa de decantação em tanques refrigerados, permitindo uma retirada mais eficaz dos resíduos sólidos (JOHNSON et al., 2014).

A etapa de fermentação é preferencialmente realizada em tanques de aço inox com um controle de temperatura entre 12°C e 17°C. Outro aspecto diferente da produção do vinho tinto se dá pelo fato de não haver a presença de cascas das uvas no mosto durante a fermentação do vinho branco (JOHNSON et al., 2014). Neste caso a fermentação malolática não se mostra tão frequente, uma vez que apesar de arredondar vinhos mais ácidos, ela pode acarretar prejuízos a características mais frutadas (DANESI, 2004). Para a clarificação, pode ser feita por sedimentação, centrifugação, filtração e flotação ou flutuação (BORTOLETTO; ALCARDE; CARAZZATO; MENDONÇA; FILHO, 2015).

Depois de estabilizados e filtrados, os vinhos brancos não costumam ser envelhecidos em barris de carvalho antes de serem engarrafados, uma vez que esse processo acarreta mudanças à coloração da bebida. Entretanto, alguns podem passar por essa etapa de envelhecimento por um período de, aproximadamente, três meses de forma a adquirir sabores e aromas do carvalho sem absorver um elevado teor de tanino da barrica (JOHNSON et al., 2014).

### 2.4.3 PRODUÇÃO DE VINHO *ROSÉ*

A produção do vinho *rosé* ou rosado une as técnicas de elaboração dos tintos. No entanto, a vinificação se dá necessariamente a partir de uvas tintas, uma vez que os pigmentos que conferem a coloração são extraídos das cascas das uvas (BRAGA; ALZER, 2015).

O vinho rosado pode ser tradicionalmente produzido por dois métodos (DANESI, 2004). O primeiro é por meio da maceração de uvas tintas. Após o desengace e esmagamento da uva, inicia-se a maceração a frio. Em seguida, é realizada a prensagem da uva e decantação do mosto resultante, que segue para a fermentação alcoólica. A fermentação deve ocorrer a baixa temperatura, como no processo do vinho branco, para a garantia de características de frescor e aromas leves. Além disso, o contato entre as cascas e o mosto deve ser menor que na produção do vinho tinto, a fim de obter a coloração menos intensa do vinho *rosé* (BORTOLETTO; ALCARDE; CARAZZATO; MENDONÇA; FILHO, 2015). Prossegue-se, assim, de forma semelhante à produção do vinho branco (DANESI, 2004).

A maceração também pode ser por meio da técnica conhecida como carbônica, em que a uva é colhida em sub maturação, com percentual de açúcar até 23,7º Brix e acidez natural, para a garantia das características sensoriais. Por essa técnica, as uvas não esmagadas são mantidas em uma atmosfera de gás carbônico e a fermentação inicia-se lentamente, o que permite a concentração dos compostos de aromas (BORTOLETTO; ALCARDE; CARAZZATO; MENDONÇA; FILHO, 2015).

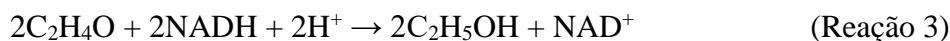
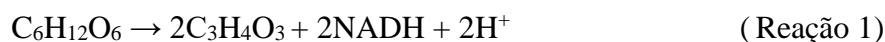
O outro método para obtenção do vinho rosado consiste em utilizar o suco das uvas que foram separadas das cascas nas etapas iniciais do processo do vinho tinto (DANESI, 2004). Esse processo, conhecido como “sangria”, consiste na retirada de parte do mosto após algumas horas de fermentação pelo fundo do tanque, sendo ele menos concentrado. Os vinhos obtidos dessa forma têm grau alcoólico superior a 13% e acidez reduzida, e qualidade inferior aos produzidos pelo método de maceração (BORTOLETTO; ALCARDE; CARAZZATO; MENDONÇA; FILHO, 2015).

Os *rosés* também podem ser obtidos pela mistura do vinho branco e tinto, mas neste caso, não caracterizam o típico rosado (BORTOLETTO; ALCARDE; CARAZZATO; MENDONÇA; FILHO, 2015). A região de Champagne é a única onde ainda se produzem, tradicionalmente, vinhos espumantes *rosé* por meio da mistura de vinhos tintos e vinhos brancos (BRAGA; ALZER, 2015).

## 2.5 FERMENTAÇÃO

Na produção do vinho, a fermentação alcoólica, que ocorre no interior da célula das leveduras, é responsável pelo teor final de álcool. Durante essa etapa, os açúcares presentes na uva são transformados em etanol (FILHO; MENDES, 2003).

Pela via glicolítica, a glicose é degradada, após dez reações sucessivas, a duas moléculas de piruvato, conforme Reação 1. Em seguida, como pode ser visto nas Reações 2 e 3, ambas são descarboxiladas e o acetaldeído (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) resultante é reduzido a etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH). Obtêm-se também, ao final, o gás carbônico (FILHO; MENDES, 2003). Assim, a concentração de açúcares no mosto, a levedura e a temperatura de processo, são fatores fundamentais para que ocorra a fermentação e determinantes para a concentração final de álcool (SOLEAS; DIAMANDIS; GOLDBERG, 1997).



Conforme o aumento do teor de etanol no mosto, o comportamento dos microrganismos se altera e, ainda, há a extração dos pigmentos e de taninos da casca da uva. Durante essa etapa há também o aumento dos compostos aromáticos, os quais são subprodutos do processo metabólico das leveduras (SOLEAS; DIAMANDIS; GOLDBERG, 1997).

Como tratado no capítulo anterior, microrganismos estão presentes na casca das uvas, o que viabiliza a fermentação espontânea. Contudo, a inoculação de leveduras selecionadas tornou-se mais comum para a produção de vinhos, visto que garante um maior controle do processo por meio do conhecimento prévio do comportamento deste agente fermentador de acordo com a quantidade adicionada e condições definidas (GAVA; FICAGNA; ROSSATO, 2017).

Diante da variedade de microrganismos naturalmente presentes no mosto, é necessário que as leveduras inoculadas tenham uma fase de latência curta de forma a se

multiplicarem mais rapidamente e, assim, serem responsáveis pela fermentação. Com isso, busca-se uma alta produtividade e rendimento, e a baixa formação de subprodutos capazes de comprometer a qualidade do vinho, como o ácido acético, por ação dos demais microrganismos (GAVA; FICAGNA; ROSSATO, 2017).

Entre as centenas de espécies de leveduras conhecidas, a *Saccharomyces cerevisiae* é a mais utilizada na produção de bebidas alcólicas e. Isso ocorre por apresentarem alta e rápida conversão do açúcar sem a formação de subprodutos indesejados (FILHO; MENDES, 2003). Entre as leveduras mais empregadas, a *S. cerevisiae var. bayanus* apresenta crescimento a concentrações mais altas de álcool, diante de baixas concentrações de açúcares (GAVA; FICAGNA; ROSSATO, 2017), e a temperaturas mais baixas, quando comparada a outras espécies do microrganismo (KONIG; CLAUS, 2018).

Para a etapa de inoculação, as leveduras devem estar hidratadas e ser aclimatadas antes de serem adicionadas ao reator de fermentação (GAVA; FICAGNA; ROSSATO, 2017). No caso de *Saccharomyces cerevisiae*, autores observam a necessidade da presença de amônio livre, a uma concentração ideal de 600 mg.L<sup>-1</sup> de mosto, além do consumo prioritário da glicose, que resulta em uma proporção final frutose:glicose mais elevada (KONIG; CLAUS, 2018).

Diante do exposto, a mistura de leveduras de diferentes gêneros e híbridos tem sido considerada como possibilidade para a correção de problemas na fermentação ou obtenção de diferentes características sensoriais para o vinho. Atualmente, leveduras ditas *não-Saccharomyces* e misturas destas com *Saccharomyces* são comercializadas, sendo possível a adição de *não-Saccharomyces* para o início da fermentação e finalizada com a *S. cerevisiae*, visto a menor sensibilidade destas ao aumento das concentrações de etanol e sulfito. Algumas culturas comerciais, por exemplo, contêm majoritariamente *S. cerevisiae* junto a *K. thermotolerans* ou *T. delbrueckii* (KONIG; CLAUS, 2018).

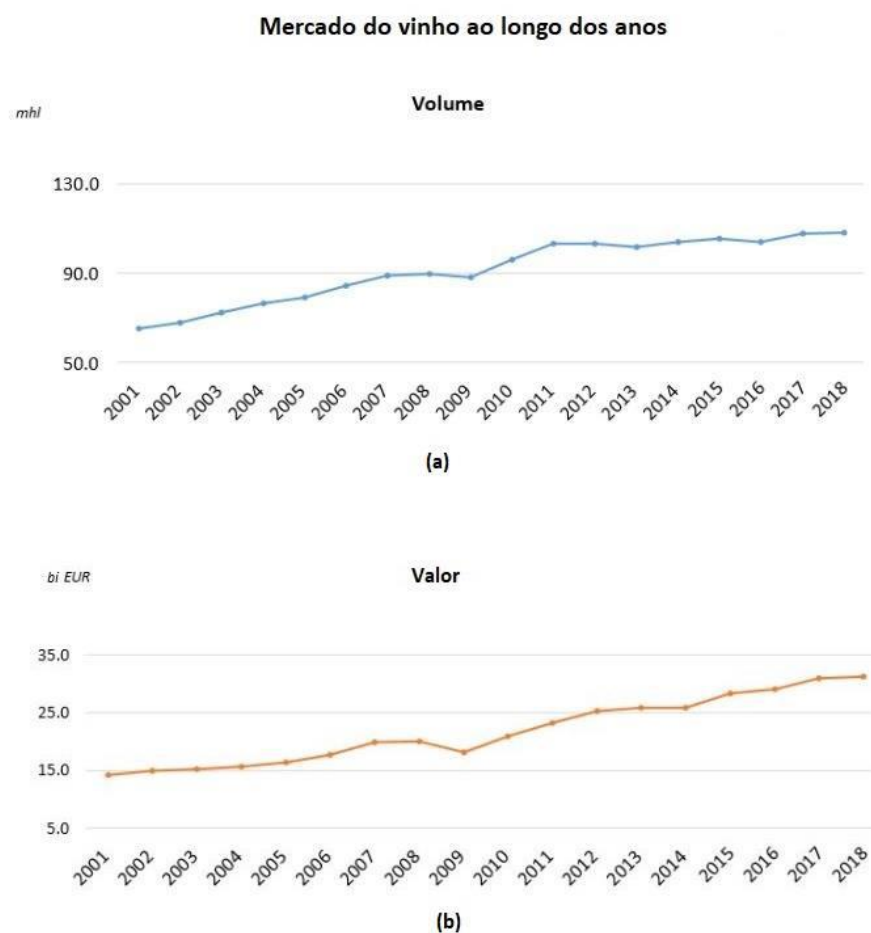
A fermentação malolática, por sua vez, é realizada por bactérias lácticas, que agem na transformação do ácido málico (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>5</sub>) em ácido láctico (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>), conforme reação abaixo. Entre as comumente aplicadas, têm-se: *Lactobacillus*, *Pediococcus* e *Leuconostoc* e *Oenococcus* (SILVA, 2020).



A etapa de fermentação, portanto, é uma etapa com grande influência na qualidade do vinho. Porém, além da temperatura, pH e leveduras selecionadas, deve-se ter atenção desde o cultivo da uva, capaz de interferir nas características finais da bebida (KONIG; CLAUS, 2018).

## 2.6 ASPECTOS MERCADOLÓGICOS

Apesar de um crescimento mais moderado do mercado mundial do vinho no ano de 2018, os totais em volume e em valor associados ao comércio continuam se elevando ao longo dos últimos anos. Foram registrados 108,0 mhL e, em valor monetário, houve um crescimento de 1,2%, alcançando 31,3 bilhões de euros no ano de 2018 (WINE, 2019).



**Figura 4:** Valores de volume (a) e valor monetário (b) do mercado mundial do vinho de 2001 a 2018

**Fonte:** Adaptado de WINE (2019).

Entre os principais países exportadores em 2018, a Espanha se destacou com maior importância no mercado em relação ao volume exportado, com a quantidade de 20,9 mhl (19,4% do mercado global), conforme Quadro 4. Por outro lado, em relação à receita total de exportação, a França permanece em primeiro lugar, com o total de 9,3 bilhões de euros exportados (WINE, 2019).

**Quadro 4:** Principais países exportadores de vinho e respectivas participações no mercado em termos de volume e de valor nos anos de 2017 e 2018.

País	Volume (mhl)		Valor (m EUR)	
	2017	2018	2017	2018
Espanha	23,0	21,0	2900,0	2900,0
Itália	21,0	19,7	6000,0	6100,0
França	14,9	14,1	9100,0	9300,0
Chile	9,8	9,3	1800,0	1700,0
Austrália	7,8	8,6	1800,0	1800,0
África do Sul	4,5	4,2	632,0	663,0
Alemanha	3,8	3,8	1000,0	1000,0
Estados Unidos	3,5	3,5	1300,0	1200,0
Portugal	3,0	3,0	780,0	804,0
Argentina	2,2	2,8	713,0	674,0
Nova Zelândia	2,6	2,6	1100,0	1000,0

**Fonte:** Adaptado de WINE (2019).

Como pode ser visto no Quadro 5, a produção mundial em 2018 apresentou crescimento em comparação ao ano anterior, alcançando um total estimado de 292,3 mhl de vinho. Apesar desse comportamento, observou-se, no Brasil, uma leve queda na produção, mas que ainda se mostrou superior à média produtiva do período de 2013-2017. O consumo, por sua vez, mostrou-se praticamente estável tanto mundialmente, quanto no Brasil, como pode ser visto no Quadro 6 (WINE, 2019).

**Quadro 5:** Valores mundiais de produção de vinho.

<b>País</b>	<b>Média 2013-2017 (mhL)</b>	<b>2017 (mhL)</b>	<b>2018 (mhL)</b>	<b>Variação 2018/2017 (%)</b>
Itália	48,3	42,5	54,8	28,9
França	43,5	36,4	49,1	34,8
Espanha	38,9	32,5	44,4	36,7
Estados Unidos	23,2	23,3	23,9	2,3
Argentina	13,0	11,8	14,5	22,8
Chile	11,0	9,5	12,9	35,9
Austrália	12,6	13,7	12,9	-6,1
Alemanha	8,6	7,5	9,8	30,7
África do Sul	11,0	10,8	9,5	-12,5
China	13,1	11,6	9,3	-20,0
Rússia	5,4	6,3	6,5	3,0
Portugal	6,4	6,7	6,1	-10,0
Romênia	4,0	4,3	5,1	17,9
Hungria	2,8	3,2	3,6	14,6
Brasil	2,6	3,6	3,1	-13,2
Nova Zelândia	2,8	2,9	3,0	5,8
Áustria	2,2	2,5	2,8	10,8
Grécia	2,7	2,6	2,2	-15,4
Moldávia	1,8	1,8	1,9	5,5
Suíça	0,9	0,8	1,1	40,4
Bulgária	1,3	1,1	1,0	-3,6
Outros Países	14,8	14,5	15,0	3,4
<b>Total mundial</b>	<b>270,9</b>	<b>249,8</b>	<b>292,3</b>	<b>17,0</b>

**Fonte:** Adaptado de WINE (2019).



**Quadro 6:** Consumo mundial de vinho em 2017 e em 2018.

<b>País</b>	<b>2017 (mhL)</b>	<b>2018 (mhL)</b>	<b>Varição 2018/2017 (%)</b>
Estados Unidos	32,6	33,0	1,1
França	27,0	26,8	-0,7
Itália	22,6	22,4	-0,9
Alemanha	19,7	20,0	1,3
China	19,3	18,0	-6,6
Reino Unido	12,7	12,4	-2,6
Rússia	11,1	11,9	6,9
Espanha	10,5	10,7	1,8
Argentina	8,9	8,4	-6,3
Austrália	5,9	6,3	6,1
Portugal	5,2	5,5	5,4
Romênia	4,1	4,5	8,7
Canadá	5,0	4,9	-2,0
África do Sul	4,5	4,3	-4,1
Brasil	3,6	3,6	0,7
Países Baixos	3,5	3,5	0,7
Japão	3,5	3,5	1,4
Bélgica	3,0	3,0	0,0
Suíça	2,7	2,8	2,9
Hungria	2,3	2,4	3,9
Áustria	2,4	2,4	-2,6
Suécia	2,3	2,3	0,0
Chile	2,3	2,3	-1,5
Grécia	2,3	2,1	-8,7
Outros Países	29,5	29,0	-1,7
<b>Total Mundial</b>	<b>246,7</b>	<b>246,0</b>	<b>-0,3</b>

**Fonte:** Adaptado de WINE (2019).

No Brasil, baseado na população em 2018 e o total de vinhos comercializados incluindo os vinhos espumantes, deduzindo exportações e somando as importações, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi capaz de estimar o consumo per capita no país, de 1,72 litros (MELLO, 2019).

Em relação ao cultivo de uva, no Quadro 7 tem-se a quantidade produzida por estado brasileiro, com destaque para o Rio Grande do Sul, Pernambuco e São Paulo, maiores produtores de uva do país. Cerca de 51,39% da produção total foi destinada à produção de vinho, suco e derivados, e as demais, ao consumo in natura. Quanto a área vitícola, entre as

regiões mais significativas na produção do vinho brasileiro, o Nordeste e Sudeste apresentaram um aumento em 2018, enquanto o Sul, uma redução de 3,45%, mantendo-se, entretanto, com a maior concentração (MELLO, 2019).

**Quadro 7:** Produção de uvas por estados, em toneladas, entre 2015 e 2018.

<b>Estados</b>	<b>2015<sup>(a)</sup></b>	<b>2016<sup>(b)</sup></b>	<b>2017<sup>(c)</sup></b>	<b>2018<sup>(d)</sup></b>
Rondônia	197	197	69	187
Tocantins	-	-	-	12
Piauí	168	168	240	51
Ceará	940	760	708	422
Paraíba	2.196	2.636	2.620	2.600
Pernambuco	237.367	242.967	390.300	423.382
Bahia	77.408	62.740	51.090	75.378
Minas Gerais	12.615	11.224	13.070	15.763
Espírito Santo	2.327	2.469	3.608	3.090
Rio de Janeiro	101	101	287	170
São Paulo	142.631	144.110	133.118	128.327
Paraná	69.035	66.000	56.295	54.000
Santa Catarina	69.118	33.849	65.800	61.256
Rio Grande do Sul	872.215	413.640	956.913	822.689
Mato Grosso do Sul	105	981	981	72
Mato Grosso	981	1.351	1.247	1.297
Goiás	4.008	2.556	1.947	2.121
Distrito Federal	1.890	1.300	1.700	1.425
<b>Brasil</b>	<b>1.497.302</b>	<b>987.059</b>	<b>1.680.020</b>	<b>1.592.242</b>

<sup>(a)</sup>dados capturados em 26/01/2016; <sup>(b)</sup>dados capturados em 24/01/2017; <sup>(c)</sup>dados capturados em 22/01/2018;

<sup>(d)</sup>dados capturados em 14/01/2019. Fonte: IBGE (2019)

**Fonte:** MELLO (2019).

No Quadro 7 é possível observar também a queda na produção de uvas no Rio Grande do Sul em 2016. Tal cenário foi consequência de fatores climáticos, como geadas e chuvas, que prejudicaram o cultivo (BRASIL, 2016).

A partir do Quadro 8 e tendo o Estado do Rio Grande do Sul como referência, constata-se que a produção de vinho é o principal destino das uvas para processamento e, principalmente, dos vinhos de mesa. As uvas de mesa também fazem parte da maior parcela de exportação, mas apresentaram queda de 10,51% em volume, assim como as importações, de 21,06% em 2018 (MELLO, 2019).

**Quadro 8:** Produção, em litro, de vinho, suco e derivados no Rio Grande do Sul de 2015 a 2018

<b>PRODUÇÃO</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
<b>Vinho de Mesa</b>	<b>210.308.560</b>	<b>86.319.015</b>	<b>255.015.187</b>	<b>218.375.636</b>
Tinto	169.811.472	75.279	217.527.985	188.270.142
Rosado	939.838	312.725	1.365.957	875.524
Branco	39.557.250	10.727.099	36.121.245	29.229.970
<b>Vinho Fino</b>	<b>37.148.982</b>	<b>18.070.626</b>	<b>44.537.870</b>	<b>38.707.220</b>
Tinto	16.745.896	8.774.847	21.442.212	19.118.254
Rosado	841.120	590.713	1.167.258	1.291.709
Branco	19.561.966	8.705.066	21.928.400	18.297.257
<b>Suco de uva integral</b>	<b>52.233.155</b>	<b>31.117.869</b>	<b>46.865.625</b>	<b>34.367.996</b>
<b>Suco concentrado<sup>(a)</sup></b>	<b>178.306.565</b>	<b>55.462.600</b>	<b>150.296.355</b>	<b>155.499.550</b>
<b>Mosto Simples</b>	<b>100.911.592</b>	<b>49.770.993</b>	<b>101.010.115</b>	<b>88.910.980</b>
<b>Outros derivados<sup>(b)</sup></b>	<b>4.106.899</b>	<b>4.179.323</b>	<b>8.232.868</b>	<b>6.291.121</b>
<b>Total</b>	<b>583.015.753</b>	<b>224.920.424</b>	<b>605.958.050</b>	<b>542.152.503</b>

<sup>(a)</sup>Transformados em litros de suco de integral com base no °Brix. <sup>(b)</sup>Inclui base para espumantes, licorosos, polpa de uva e outros.

**Fonte:** MELLO (2019).

No mercado de vinho brasileiro, hoje, as importações superam a exportação, todavia, observa-se o aumento da saída nos últimos anos, o que se mostra como um incentivo para novos investidores e até mesmo para os atuais produtores (MELLO, 2019).

## 3 METODOLOGIAS

O projeto de um processo produtivo é constituído de diversas etapas, entre as quais: pesquisa de mercado, seleção de tecnologias, síntese do fluxograma, dimensionamento, simulação e otimização, além da estimativa de custo. Portanto, para esse tipo de estudo, a utilização de um simulador é fundamental. Neste capítulo serão apresentadas as funcionalidades do *software SuperPro Designer*®, assim como a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

### 3.1 SUPERPRO DESIGNER®

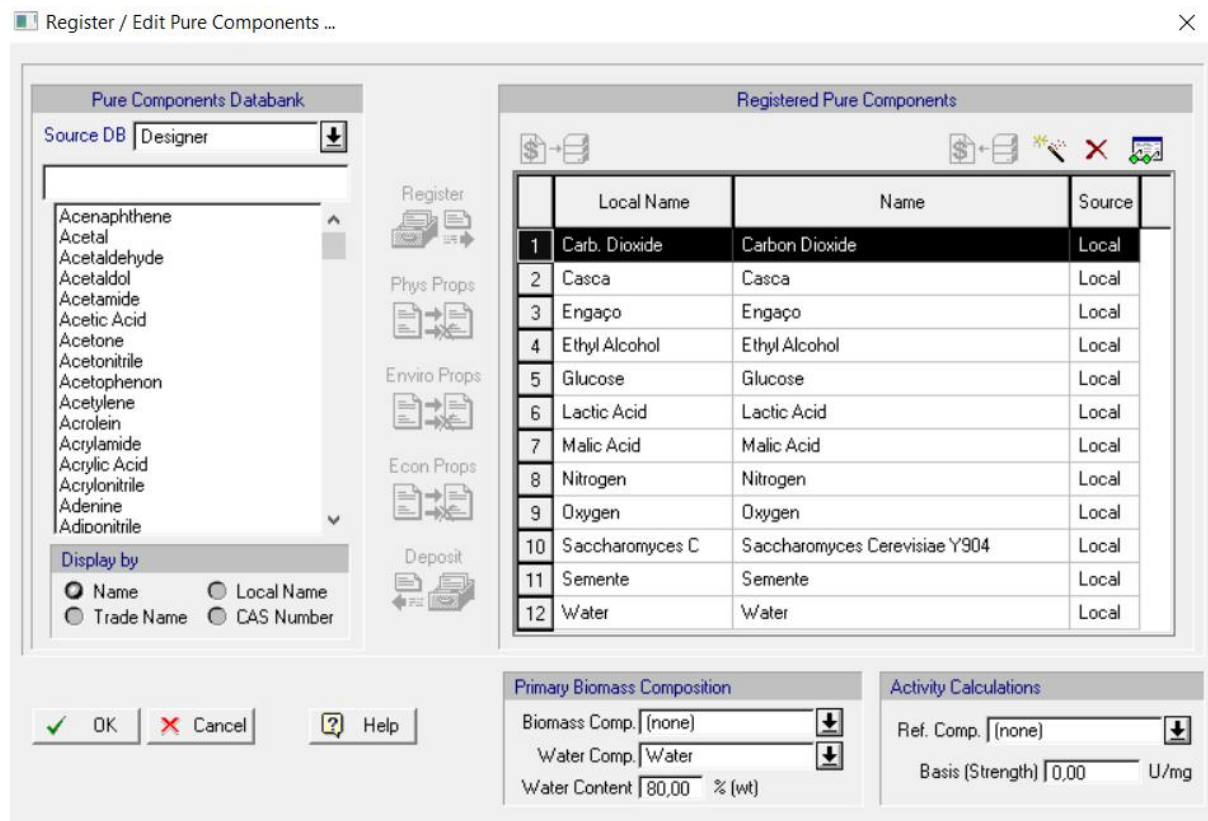
O simulador *SuperPro Designer*® é um *software* fornecido pela *Intelligen, Inc.* que permite a modelagem e otimização de processos por meio da realização dos balanços de massa e energia, além do cálculo de propriedades ambientalmente relevantes do fluxo, da estimação do tamanho e do custo dos equipamentos e realização da avaliação econômica. É possível, dessa forma, analisar o efeito de possíveis mudanças das condições operacionais quanto ao investimento necessário e o impacto ambiental (PAL; SILETTI; PETRIDES, 2008).

Com os variados recursos desse simulador, como a biblioteca disponível de mais de 140 unidades de processo, entre separadores de fases, reatores, bombas e evaporadores, a aplicação abrange as áreas farmacêutica, biotecnológica, alimentos, microeletrônica, entre muitas outras (INTELLIGEN, 2020). Dessa forma, pode ser aplicado a projetos de plantas de processos fermentativos, como a produção de vinho, que é o objetivo concebido para o desenvolvimento do presente trabalho.

#### 3.1.1 EQUIPAMENTOS E OPERAÇÕES

Como ajuste inicial do simulador, deve-se selecionar o modo de operação utilizado para os processos. Nesse sentido, considerou-se o modo operacional em batelada para a produção fermentativa de vinho, sendo o termo *batelada*, no programa, referente a todo o ciclo produtivo e não ao fermentador. Além disso, antes de qualquer inclusão de equipamentos e operações, os componentes puros e misturas utilizadas ao longo da simulação devem ser registrados em *Pure components* ou *Stock Mixtures* presentes na aba *Tasks* da barra de ferramentas, conforme a Figura 5. Os componentes e misturas mais usuais já estão contidos no banco de dados do programa, assim como suas propriedades físico-químicas

características. Caso contrário, é possível criar um novo e inserir suas respectivas propriedades de relevância para as operações.



**Figura 5:** Janela de registro de componentes e misturas necessárias para a simulação.

**Fonte:** SuperPro Designer®.

Para a elaboração do *layout* do processo em batelada são selecionados os equipamentos e, em cada um deles, é necessário o *input* das operações que ocorrem, como, por exemplo, aquecimento, agitação e carregamento. Para a simulação foram utilizadas as seguintes operações:

- **AGITATION:** Utilizado para o procedimento de agitação do meio presente no equipamento.
- **CHARGE:** Operação para entrada de material que não foi transferido de nenhum outro equipamento presente no layout.
- **CIP:** Operação referente a limpeza do equipamento em que é calculada a quantidade de material necessária.
- **CONVEY:** Essa operação é utilizada para o transporte de material em esteira.

- *COOL*: Operação para o resfriamento do meio dentro do equipamento, em que pode ser utilizado um agente ou eletricidade.
- *FERMENT (Kinetic)*: Operação em que ocorre transformação do material presente no meio a partir de uma reação que envolve a cinética de um microrganismo.
- *FERMENT (Stoichiometric)*: Operação em que ocorre a transformação do material por equilíbrio estequiométrico e não é considerada a cinética.
- *FILL*: Essa operação é utilizada para o envase do material em recipientes como garrafas.
- *HEAT*: Utilizada para o aquecimento do meio. Pode-se adotar um agente de aquecimento ou eletricidade.
- *HOLD*: Essa operação é utilizada para representar um tempo de espera entre suas operações.
- *LABEL*: Operação para a aplicação das etiquetas de rótulo.
- *MIX*: Essa unidade de operação é capaz de misturar dois ou mais fluxos, conforme selecionado, gerando um de saída.
- *SPLIT*: Operação para a divisão do fluxo em dois ou mais conforme frações desejadas.
- *TRANSFER-IN*: Essa operação é aplicada quando há entrada de um material originado de outro equipamento presente no layout.
- *TRANSFER-OUT*: Utilizado para a saída de material do equipamento ou sua transferência para um outro.
- *TRANSPORT*: Operação para deslocamento de matéria por um meio de transporte.

### **3.1.1.1 Transporte**

A primeira operação do *layout* é referente ao transporte das caixas de uva até a Unidade de produção. Para a transferência, optou-se por um caminhão de pequeno porte, representada pelo modelo da Figura 6. Neste equipamento, foi utilizada a operação *TRANSPORT* com o ajuste de massa total da carga de quatro toneladas de cachos de uva, distância percorrida por viagem de, aproximadamente, um quilômetro, e capacidade do caminhão de transportar, em média, duas toneladas por viagem.



P-1

Transporte

**Figura 6:** Caminhão.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

As proporções e quantidades de componentes que fazem parte dos cachos de uva foram ajustadas na corrente de entrada do caminhão de acordo com a Figura 7.

Stream Uvas (P-2 --> P-3)

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents  Total  Liquid/Solid  Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)	Extra-Cell (%)
1	Casca	400,00000	10,0000	101,943188	100,00
2	Engaço	280,00000	7,0000	71,360232	100,00
3	Glucose	624,00000	15,6000	159,031374	100,00
4	Malic Acid	7,59767	0,1899	1,936327	100,00
5	Semente	200,00000	5,0000	50,971594	100,00
6	Water	2488,40233	62,2101	634,189168	100,00

Total Flowrates

Mass Flow | 4000,000 | kg/batch

Volumetric Flow | 3923,754 | L/batch

Temperature | 25,00 | °C

Pressure | 1,013 | bar

Enthalpy | 0,000 | kW-h/batch

Activity | 0,00 | U/mL

Units Mass | kg | Vol. | L | Composition | % | Conc. | g/L | Enthalpy | kW-h |

Time Reference for Flows  Batch  Source Cycle  Destination Cycle  Time Avg (per RCT) | h |

OK Cancelar Ajuda

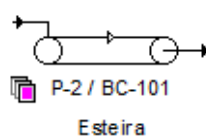
**Figura 7:** Janela de registro da proporção dos compostos presentes na corrente de *Uvas* na entrada da Desengaçadeira

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

A polpa e casca são responsáveis por, aproximadamente, 88,0% da baga da uva (SANTANA, 2005), e o engaço e semente pelos demais 12,0% (SCHUMACHER, 2007).

### 3.1.1.2 Esteira

A segunda operação é referente ao transporte dos cachos de uva por esteira, cujo desenho é apresentado na Figura 8. Os cachos que chegam da colheita são retirados das caixas e, com as uvas já na esteira, é realizada uma última remoção de possíveis uvas podres e/ou engaços soltos. De forma a manter um valor de entrada e de saída dos cachos em torno de quatro toneladas nesta etapa, considerou-se que houve uma pré-seleção eficiente das uvas em melhores condições durante a colheita. Neste equipamento, conforme Figura 7, utiliza-se a operação *CONVEY*, sendo esta a única possível, e foi necessária a inserção das informações de vazão mássica por comprimento de esteira, de 2000 (kg/h)/m, e do tempo, 60 minutos. Essas especificações foram determinadas a partir de levantamento de pesquisas com fornecedores deste equipamento e optou-se por uma de altura média de 1,5 metros e comprimento de 2,5 metros.



**Figura 8:** Esteira.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

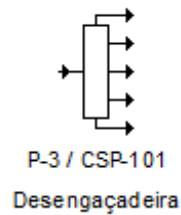
Abaixo do desenho de cada equipamento está presente o *TAG* do procedimento seguido do *TAG* do equipamento, que pode ser modificado pelo usuário. Para a esteira acima foram definidos os *TAGs* P-2 e BC-101, que pode facilitar a identificação no *layout* e até mesmo em campo, quando se aplicar a uma planta já existente.

### 3.1.1.3 Desengaçadeira

No CSP-101 foram adicionadas as operações de *SPLIT* e *CIP*. Apesar de não haver no simulador um equipamento específico para caracterizar o desengaçamento e esmagamento das uvas, foi considerado um equipamento de divisor de correntes conforme a Figura 9. Como corrente de entrada, considerou-se aquela com os cachos de uvas provenientes da esteira. Após a desengaçadeira, saem as seguintes correntes: *Mosto para levedura (1)*, *Mosto*



para levedura (2), Mosto para levedura (3) e Mosto para Fermentação, e a retirada dos engaos e sementes na corrente Resíduos.



**Figura 9:** Desengaçadeira.

**Fonte:** SuperPro Designer®.

Desse modo, é necessário ajustar a porcentagem de cada componente destinado para cada corrente após a desengaçadeira, como pode ser visto na Figura 10.

SPLIT-1 (5-Way Component Splitting)

Oper.Cond's Labor, etc. Description Batch Sheet Scheduling

Splitting Specification

for Component: Water

Output Stream	Split %	Components
S1 : Resíduos	0,00	Carb. Dioxide Casca Engaço Ethyl Alcohol Glucose Lactic Acid Malic Acid Nitrogen Oxygen Saccharomyces C Semente Water
S2 : Mosto para levedura (1)	0,02	
S3 : Mosto para levedura (2)	0,02	
S4 : Mosto para levedura (3)	0,04	
S5 : Mosto para Fermentação	99,92	

Total 100,00 %

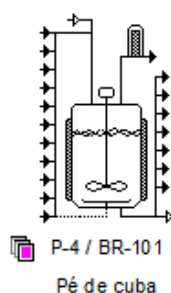
**Figura 10:** Janela de registro do ajuste de composição das correntes de saída da desengaçadeira.

**Fonte:** SuperPro Designer®.

A operação CIP está presente em todos os equipamentos, exceto nos de transporte, como última operação e em cada um foi utilizada a água a 25 °C como agente.

### 3.1.1.4 Pé de cuba

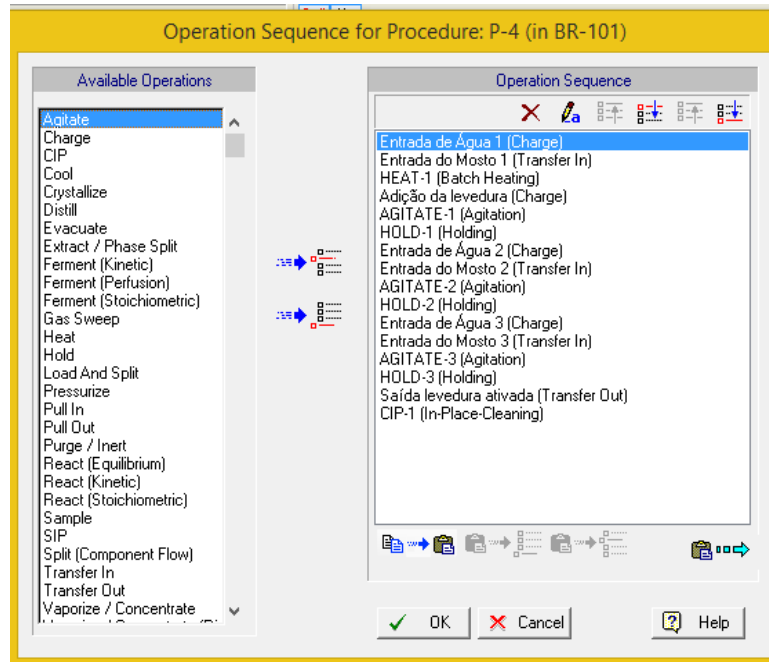
A hidratação da levedura é representada em P-4 (Figura 11), em que parte do mosto obtido em CSP-101 é direcionado ao BR-101, representado pelas correntes *Mosto para levedura (1)*, *Mosto para levedura (2)* e *Mosto para levedura (3)*. Tais operações ocorrem por *TRANSFER IN*.



**Figura 11:** Pé de cuba.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

Para a preparação do meio foi considerada a concentração de  $0,20 \text{ g.L}^{-1}$  de leveduras nos fermentadores (MOTA; AMORIM; FÁVERO; GLORIA; REGINA, 2009). Inicialmente é adicionado no equipamento um volume de água (*CHARGE*) e mosto de forma que para um grama de levedura sejam adicionados 10,0 mL de solução água/mosto e esta solução deve estar na proporção aproximada de 1:10 (1,0 mL de mosto para 10,0 mL de solução) (CHERUBIN, 2003). A  $37^\circ\text{C}$  (*HEAT*) a levedura é adicionada (*CHARGE*) e o sistema agitado (*AGITATION*). Após dez minutos de repouso (*HOLD*), o mesmo volume é adicionado (*CHARGE* e *TRANSFER IN*) e agitado novamente (*AGITATION*). Passados mais dez minutos (*HOLD*), o volume de solução é dobrado (*CHARGE* e *TRANSFER IN*) e após uma outra etapa de descanso (*HOLD*), a solução é adicionada aos fermentadores, indicado pelo *TRANSFER OUT* (PEREGRINO, 2020). Todas as operações que ocorrem neste equipamento podem ser vistas na Figura 12.

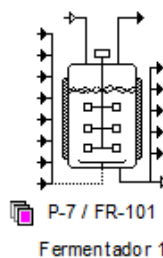


**Figura 12:** Janela de registro das operações utilizadas em P-4.

**Fonte:** SuperPro Designer®.

### 3.1.1.5 Fermentador

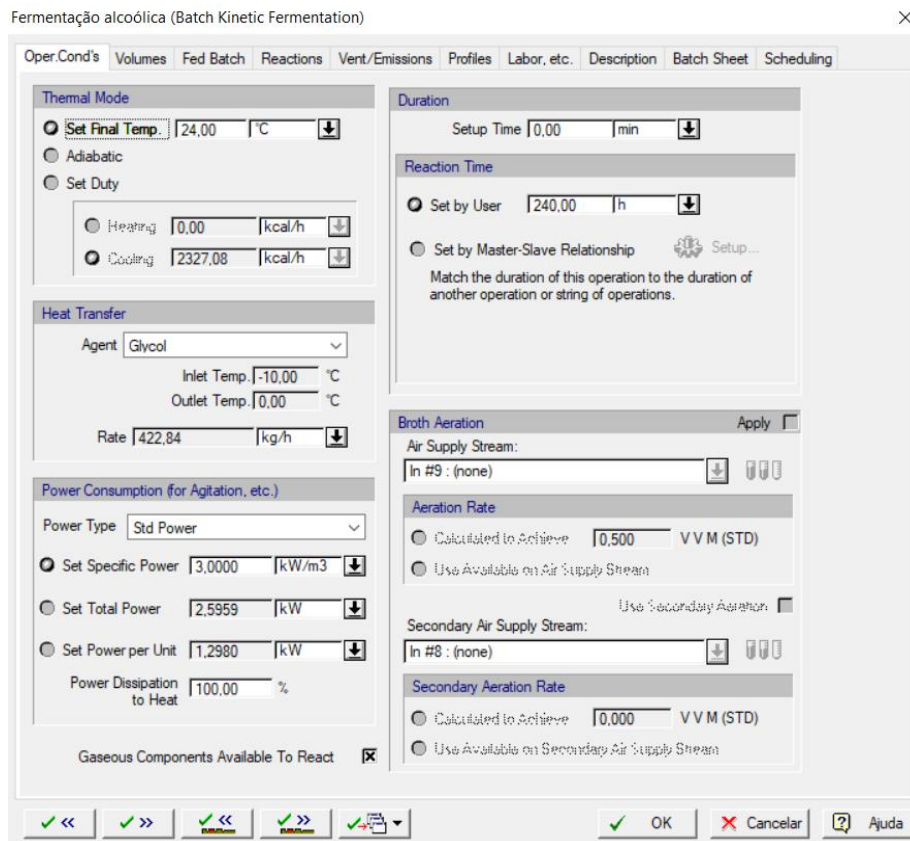
Na etapa de fermentação há entrada (*TRANSFER IN*) de uma corrente de mosto, proveniente da desengaçadeira, outra de solução com as leveduras aclimatadas, do Pé de cuba e a de  $\text{SO}_2$  (*CHARGE*) na concentração de  $50 \text{ mg.L}^{-1}$  (BARBARA; SILVA; BIASOTO; GOMES; CORREA; LEÃO; ZINI, 2019). As divisões dessas correntes foram representadas por meio dos equipamentos CSP-102 e CSP-103, com a operação *SPLIT 4-Way Component*. Após essas derivações, as correntes seguem com proporções de componentes similares para cada fermentador. A Figura 13 mostra o esquema dessa etapa.



**Figura 13:** Fermentador.

**Fonte:** SuperPro Designer®.

Para a fermentação alcoólica foi utilizado o *FERMENT (Kinetic)*, com o ajuste de temperatura para 24°C, tempo de fermentação ( $t_f$ ) de 240 horas (MOTA; AMORIM; FÁVERO; GLORIA; REGINA, 2009) e o agente de controle de temperatura, como pode ser visto na Figura 14. O valor de potência específica para agitação é dado pelo modo padrão do programa e a taxa de resfriamento é calculada a partir dos balanços da simulação.

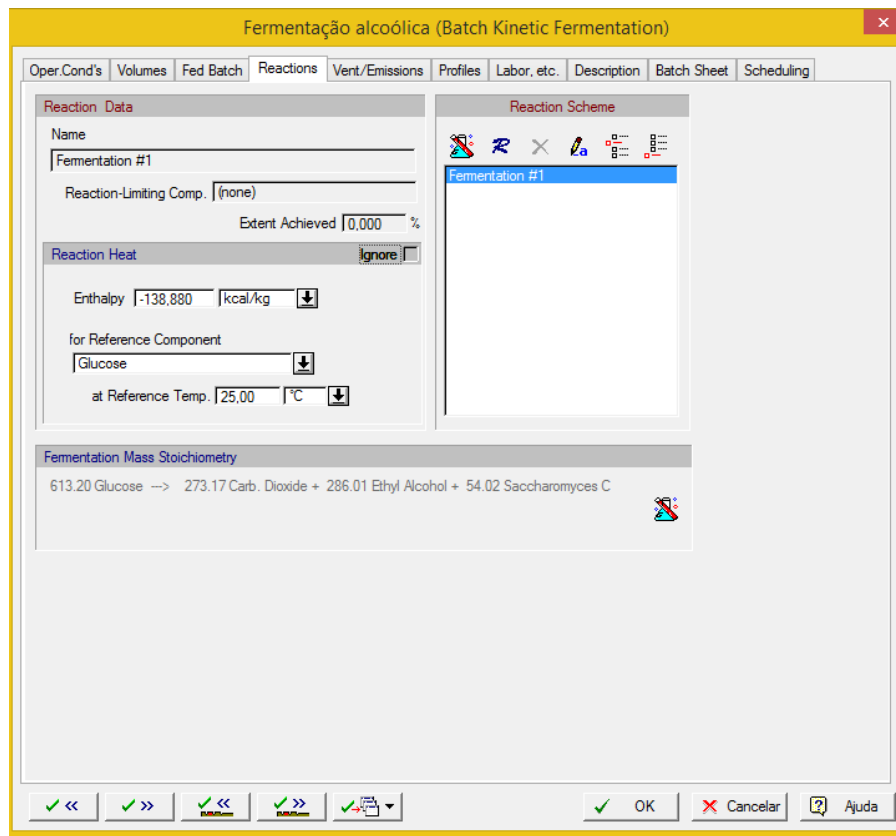


**Figura 14:** Janela de registro dos ajustes operacionais de *FERMENT (Kinetic)*.

**Fonte:** SuperPro Designer®.

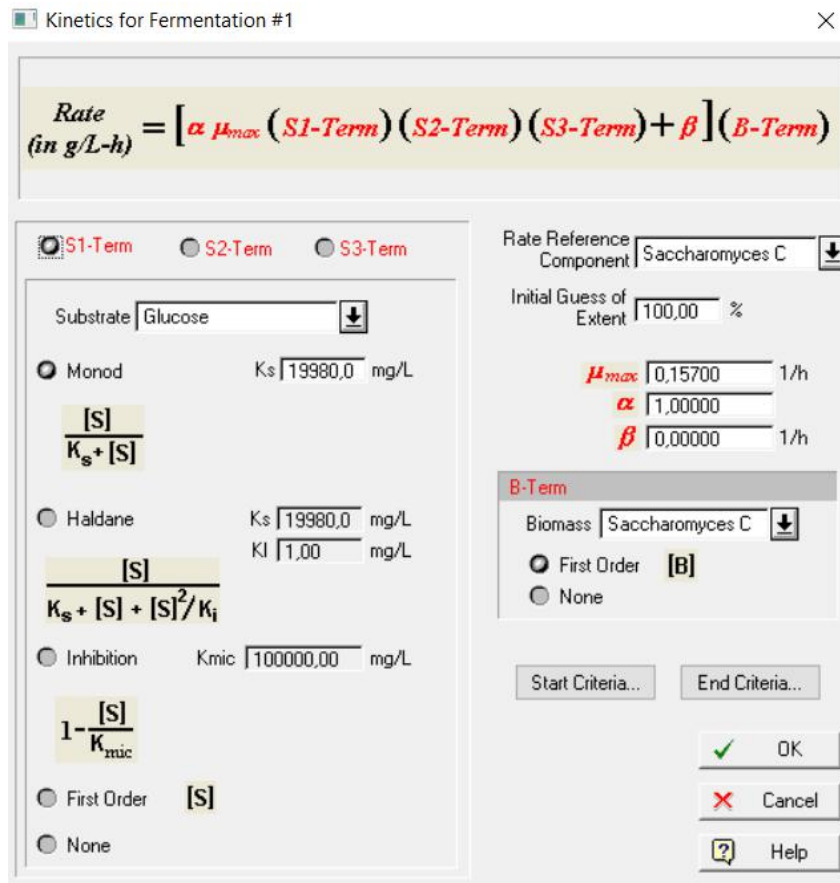
Com relação aos dados da reação em si, os mesmos devem ser inseridos, assim como a entalpia (CHEM 440). O balanço definido pode ser molar ou mássico, mas como o simulador exige que a levedura seja inserida como produto da reação, optou-se pelos cálculos de conservação mássica. Para obtenção da quantidade levedura formada como produto, calculou-se a diferença entre a massa de glicose utilizada e a massa de etanol e dióxido de carbono produzidos (FIGUEREDO, 2017). Portanto, toda massa de reagente que não foi convertida em etanol e dióxido de carbono pela fermentação, foi transformada em biomassa. Com uma concentração média de 1,0 g.L<sup>-1</sup> de glicose residual no vinho, (MOTA; AMORIM;

FÁVERO; GLORIA; REGINA, 2009) o critério final para a reação foi estabelecido nesta concentração.



**Figura 15:** Janela de registro dos dados reacionais da fermentação alcoólica.

**Fonte:** SuperPro Designer®.



**Figura 16:** Janela de registro do modelo cinético adotado e seus parâmetros.

**Fonte:** SuperPro Designer®.

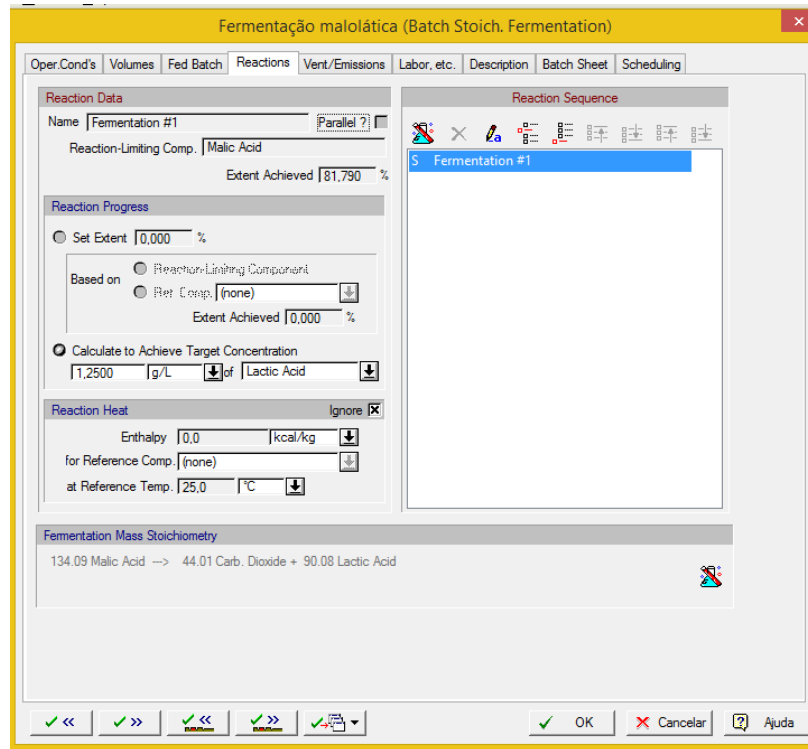
O modelo cinético adotado, como mostrado na Figura 16, foi o de Monod e a levedura considerada foi a *Saccharomyces cerevisiae* Y-904, com os respectivos parâmetros cinéticos:

$$\mu_{\max} \text{ (h}^{-1}\text{)} \quad 0,157 \pm 0,002$$

$$K_s \text{ (g.L}^{-1}\text{)} \quad 19,98 \pm 1,54$$

(VELOSO, 2019)

Após os 10 dias de fermentação alcoólica, o sistema é resfriado (COOL) até 17°C (BARBARA; SILVA; BIASOTO; GOMES; CORREA; LEÃO; ZINI, 2019) para o início da fermentação malolática (FERMENT (*Stoichiometric*)). De forma análoga à alcoólica, foram inseridas as informações reacionais, conforme Figura 17. O ajuste de concentração final de ácido láctico presente no vinho foi de 1,25 g.L<sup>-1</sup> (BRAGA; ALZER, 2015).



**Figura 17:** Janela de registro dos dados reacionais da fermentação malolática.

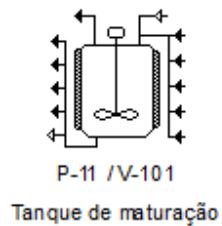
**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

Ao final de 30 dias (BARBARA; SILVA; BIASOTO; GOMES; CORREA; LEÃO; ZINI, 2019) o vinho é transferido para o tanque de maturação (*SPLIT*) e os sólidos ao fundo do fermentador retirados (*TRANSFER OUT*) pelas correntes Resíduos (1), Resíduos (2), Resíduos (3) e Resíduos (4). Neste caso a corrente de saída com o vinho não pode ser retirada por *TRANSFER OUT* pois a retirada dos sólidos ocorre após a saída do líquido, ou seja, a retirada do líquido é considerada uma separação, por isso o uso da operação *SPLIT*. As mesmas configurações foram inseridas para os quatro fermentadores (FR-101, FR-102, FR-103 e FR-104).

### 3.1.1.6 Tanque de Maturação

As correntes com o mosto já fermentado seguem para o *Tanque de Maturação (TRANSFER IN)*, onde ocorre o resfriamento para  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (*COOL*) e esta temperatura é mantida por 15 dias para estabilização tartárica (MOTA; AMORIM; FÁVERO; GLORIA; REGINA, 2009). Em seguida, o vinho é aquecido (*HEAT*) e mantido à temperatura ambiente por mais três meses (*HOLD*) até ser transferido (*TRANSFER OUT*) para o engarrafamento

(BARBARA; SILVA; BIASOTO; GOMES; CORREA; LEÃO; ZINI, 2019). O equipamento pode ser visto na Figura 18.

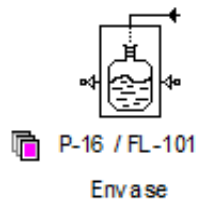


**Figura 18:** Tanque de Maturação.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

### 3.1.1.7 Envase

Para o envase do produto obtido há um equipamento específico, representado na Figura 19. O processo (*FILL*) foi ajustado para um enchimento em recipientes de 0,750 L. Nesta etapa foi necessário inserir também uma outra corrente de entrada de garrafas vazias para realizar a simulação.



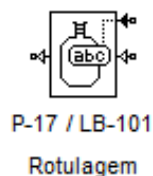
**Figura 19:** Envase.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

### 3.1.1.8 Rotulagem

Assim como para o envase, há um equipamento específico para a rotulagem conforme o esquema apresentado na Figura 20. No LB-101 foi considerado apenas o procedimento *LABEL*.





**Figura 20:** Rotulagem.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

### 3.2 CÁLCULO DE DORNAS

O número de dornas ( $D$ ) de um processo fermentativo pode ser calculado por uma relação com o tempo de fermentação ( $t_f$ ) e do tempo de transferência ( $t_s$ ), em horas, dado pela Equação 3.1:

$$D = 2 + \frac{t_f}{t_s} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Contudo, o resultado de  $D$  obtido pode gerar um alto custo no processo e até torná-lo inviável economicamente. Diante disso, deve-se considerar o fator de economicidade e recalcular esta quantidade de reatores ( $De$ ) a partir da Equação (3.2).

$$De = \frac{2}{(1-a)} \quad (\text{Equação 3.2})$$

O parâmetro  $a$  da Equação 3.2 é o coeficiente angular da equação obtida pela regressão linear de  $\log(\text{preço}) \times \log(\text{volume})$ . Assim, é necessário o levantamento no mercado do custo de fermentadores por volume.

### 3.3 MODELO CINÉTICO

O modelo cinético de crescimento microbiano é capaz de descrever a dinâmica do processo fermentativo (VELOSO, 2019). O modelo de Monod, expresso na Equação 3.3, é o

mais utilizado, sendo aplicado quando apenas um substrato é limitante e todos os outros estão em excesso (BORGES, 2011).

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_s + S} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Sendo:

$$\mu = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \quad (\text{Equação 3.4})$$

$\mu$  - taxa específica de crescimento celular ( $h^{-1}$ )

$\mu_{max}$  - taxa específica de crescimento celular máxima ( $h^{-1}$ )

S - concentração de substrato limitante ( $g.L^{-1}$ )

$K_s$  - constante de saturação ( $g.L^{-1}$ )

X - concentração de células ( $g.L^{-1}$ )

t - tempo (h)

Monod é um exemplo de modelo conhecido como não estruturado, em que a composição celular não muda significativamente o processo, não interferindo, assim, na cinética (BORGES, 2011).

Os modelos também são classificados quanto à formação de produto, relacionando a produção e o crescimento celular. Entre eles, tem-se de produção parcialmente associada ao crescimento, em que a taxa de formação de produto depende da taxa de crescimento e da concentração celular, conforme Equação 3.5. Essa equação representa o modelo cinético de *Leudeking-Piret*, utilizada no ajuste de dados para a formação de produtos de fermentação, como para o ácido acético por *Lactobacillus delbrueckii* (BORGES, 2011).

$$\frac{dP}{dt} = \alpha \frac{dX}{dt} + \beta \quad (\text{Equação 3.5})$$

Onde:

$dP/dt$  - taxa de formação de produto ( $g.L^{-1}.h^{-1}$ )

$dX/dt$  - taxa de crescimento ( $g.L^{-1}.h^{-1}$ )

$\alpha$  e  $\beta$  - constantes inerentes ao microrganismo e às condições de cultivo

No caso da produção de vinho, sendo uma fermentação alcoólica, o modelo de produção associada ao crescimento é o mais aceito, em que a formação do produto é proporcional apenas ao crescimento celular ( $\beta=0$ ). O substrato é convertido a um produto único, que se forma concomitantemente ao desenvolvimento da levedura (BORGES, 2011).

$$\frac{dP}{dt} = \alpha \frac{dX}{dt} \quad (\text{Equação 3.6})$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo serão apresentados os dados utilizados para a simulação, como as massas das correntes e parâmetros cinéticos da levedura. Além disso, serão discutidos os resultados obtidos, entre eles o tempo de reação, o custo de investimento, operação e a receita gerada pelo processo em questão.

### 4.1 NÚMERO DE FERMENTADORES

Diante de uma massa de entrada de 4.000 Kg de uva e o rendimento médio de 65% uva-vinho (EMBRAPA, 2006), foi realizado o cálculo do número de dornas (D) conforme Equação (3.1). Contudo, para um processo de 10 dias de fermentação (240 horas) (MOTA; AMORIM; FÁVERO; GLORIA; REGINA, 2009) e uma hora para a transferência, a quantidade resultante de reatores é fisicamente e economicamente inviável.

$$D = 2 + \frac{240}{1} = 242 \text{ dornas} \quad (\text{Equação 4.1})$$

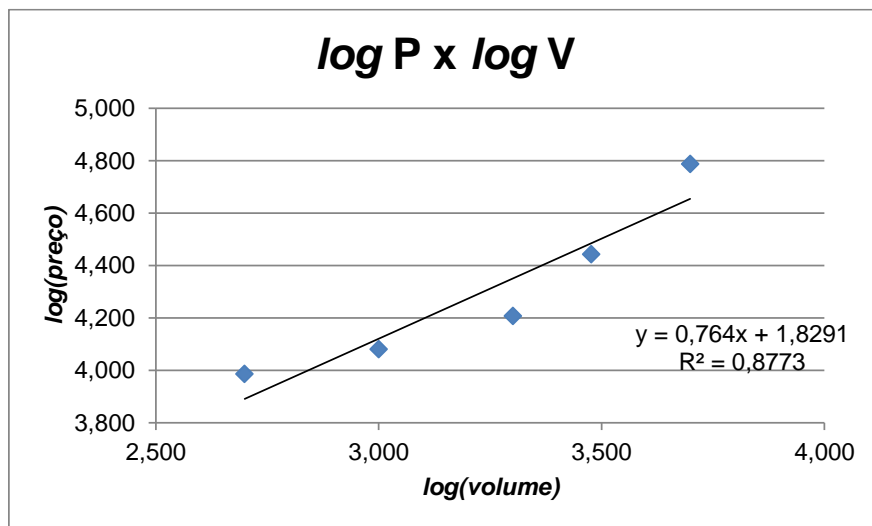
Considerou-se, então, o estudo econômico a partir do orçamento enviado pela empresa de Equipamentos e Acessórios *Casa das Cantinas* em 26/08/2020 para os reatores com cinta de inox AISI304.

**Tabela 1:** Dados para o cálculo do número de dornas

<b>CÁLCULO DE DORNAS - com cinta</b>			
<b>Volume (litros)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>log(volume)</b>	<b>log(preço)</b>
500	9690,0	2,699	3,986
1000	12027,0	3,000	4,080
2000	16102,5	3,301	4,207
3000	27759,0	3,477	4,443
5000	61218,0	3,699	4,787

**Fonte:** Portfólio Empresa de Equipamentos e Acessórios *Casa das Cantinas*

Para o cálculo considerando o fator econômico foi gerado o gráfico  $\log(\text{preço})$  x  $\log(\text{volume})$  a partir das informações da Tabela 1.



**Figura 21:** Regressão linear para o cálculo do número de dornas.

Assim, para  $a = 0,764$ , obteve-se:

$$D = \frac{2}{(1-0,764)} = \frac{2}{0,236} = 8,47 \approx 8 \text{ dornas} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Entretanto, diante da disponibilidade no mercado de reatores a partir de 500 litros e o seu custo, foram definidos quatro fermentadores de 1.000 litros para o processo. Apesar do menor custo com o uso de menos reatores de uma maior capacidade, tais cenários poderiam gerar maiores perdas de produção em caso de contaminação ou qualquer descontrole e problemas em um dos equipamentos.

## 4.2 BALANÇO DE MASSA FERMENTATIVO

A reação inserida no simulador foi de balanço mássico devido a exigência do programa da presença da levedura no equilíbrio. A base de cálculo considerada foi de 16,83  $\text{g.L}^{-1}$  de glicose para 1% de álcool (RIBEREAU-GAYON; DUBOURDIEU; DONÈCHE; LONVAUD, 2006). Assim, obteve-se:

Para o volume final de vinho de 3036,24 L, tem-se:

- **Massa de glicose:**  $16,83 \text{ g.L}^{-1} * 3036,24 \text{ L} = 51099,92 \text{ g}$
- **Massa de álcool:**  $0,01 * 3036,24 \text{ L} * 0,785 \text{ Kg.L}^{-1} = 23,8345 \text{ Kg}$

Considerando uma concentração em torno de 12% de álcool:

- **Massa de glicose:**  $51099,92 \text{ g} * 12 = 613199,04 \text{ g} = \mathbf{613,199 \text{ Kg}}$
- **Massa de álcool:**  $23,8345 \text{ Kg} * 12 = \mathbf{286,014 \text{ Kg}}$
- Mols de álcool:  $286,014 \text{ g} / 0,046069 \text{ Kg.mol}^{-1} = 6208,38 \text{ mols}$

A partir da estequiometria de um mol de álcool para um mol de dióxido de carbono:

- **Massa de CO<sub>2</sub>:**  $6208,38 \text{ mols} * 0,0440 \text{ Kg.mol}^{-1} = \mathbf{273,168 \text{ Kg}}$

Por diferença de massa (FIGUEREDO, 2017):

- **Massa de *Saccharomyces cerevisiae*:**  
 $613,199 \text{ Kg de glicose} - 286,014 \text{ Kg de álcool} - 273,168 \text{ Kg de CO}_2 =$   
 $= \mathbf{54,017 \text{ Kg}}$

### 4.3 BALANÇOS DE MASSA E CORRENTES

As correntes de entrada e saída dos equipamentos são apresentadas no **Apêndice I**. As correntes foram originadas na simulação e, além das informações dos balanços de massa, são indicados a temperatura, a pressão na linha e, em alguns casos, o volume. Essas correntes também podem ser vistas no **Apêndice II**.

Pelos balanços é possível observar a redução de massa dos componentes consumidos ao longo do processo e do aumento daqueles que foram gerados, conforme esperado. Além disso, o balanço mássico total zera, o que indica que os ajustes e a simulação foram corretos. Por meio dos balanços também é possível identificar as concentrações de entrada de cada um dos componentes.

## 4.4 ANÁLISE DO PROCESSO

### 4.4.1 SIMULADOR

De um modo geral, as principais etapas presentes no processo de produção de vinho podem ser descritas utilizando as ferramentas contidas no simulador *SuperPro Designer*®. No entanto, algumas limitações relacionadas aos equipamentos e ajustes operacionais foram observadas. Durante as etapas de produção, há a necessidade do uso de desengaçadeiras para a remoção dos engaços das uvas e o subsequente esmagamento das mesmas. Uma vez que o programa não possui um equipamento específico para caracterizar a desengaçadeira, a alternativa encontrada foi de representá-la por meio de uma unidade de separação de correntes. Nesse sentido, adicionou-se uma unidade de separação de correntes dotado de uma única entrada de cachos de uva e cinco saídas representando a divisão dos engaços retirados, correntes de mosto para o *Pé de Cuba* e uma única de mosto direcionada aos fermentadores.

Além da questão de ausência de equipamento específico, os ajustes no fermentador inviabilizam a reprodução da etapa de *Remontagem* durante a fermentação. Essa etapa consiste em bombear duas vezes ao dia um fluxo de fluido do fundo do tanque até o topo, de forma a quebrar o *Chapéu* formado pelas cascas das uvas. Entretanto, não é possível adicionar operações *TRANSFER-OUT* e *TRANSFER-IN* simultâneas à operação *FERMENT (KINECT)*. Diante disso, considerou-se o uso de agitador mecânico durante a fermentação para promover a homogeneização das cascas no mosto.

Outra limitação de ajuste de operação foi observada ao se adicionar as correntes de garrafas vazias e rótulos para as etapas de envase (FL-101) e rotulagem (LB-101). Nos dados de entrada da corrente *Garrafas vazias*, o simulador demanda a inserção obrigatória dos componentes contidos dentro dos recipientes, mesmo em caso de não estarem preenchidos. Tentando solucionar essa questão, considerou-se uma composição de ar de massa desprezível na entrada desta corrente, de forma a não alterar o volume final e proporções de componentes da garrafa cheia com o vinho. O mesmo foi adotado para a corrente *Rótulos*.

#### 4.4.2 PARÂMETROS CINÉTICOS

O tempo de fermentação ajustado na operação *FERMENT (KINECT)* foi de dez dias com o objetivo de se obter uma concentração residual de açúcares em torno de  $1,00 \text{ g.L}^{-1}$  e teor de álcool de 10-12 %v/v no vinho (MOTA; AMORIM; FÁVERO; GLORIA; REGINA, 2009). Contudo, com os parâmetros cinéticos adotados para a equação de Monod (VELOSO, 2019), o simulador gerou como resultado uma duração de fermentação de, aproximadamente, 40 horas para se alcançar as concentrações desejadas no vinho, conforme Figura 22 (a), o que não é previsto para um processo real nessas condições de concentração inicial de substrato, temperatura e pressão (RIBEREAU-GAYON, P.; DUBOURDIEU, D.; DONÈCHE, B.; LONVAUD, A, 2006).

Esse comportamento cinético fora do esperado pode ser explicado por alguns fatores associados tanto à cepa de levedura utilizada, quanto às condições do meio. Os parâmetros cinéticos da equação de Monod são influenciados por características intrínsecas ao microrganismo e, assim, mudanças nas linhagens da levedura acarretaram resultados diferentes de taxa específica de crescimento máxima e constante de saturação de Monod, consequentemente, alterando o tempo de fermentação. Além disso, outro fator que promove uma diferença na duração da fermentação é que os valores de  $\mu_{\text{max}}$  e  $K_s$  adotados foram obtidos experimentalmente para a temperatura de  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  (VELOSO, 2019), ao passo que para a simulação, considerou-se um processo a  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ . Por fim, deve-se levar em conta também que, no simulador, não foi possível representar fielmente todos os componentes reais presentes no mosto devido a limitação de informações na literatura. Consequentemente, também não foram consideradas as reações paralelas que envolvem esses componentes, capazes de influenciar na cinética do microrganismo.

Por outro lado, de forma a minimizar as diferenças causadas pela temperatura do meio, puderam-se obter os valores de taxa de crescimento específica máxima e de constante de saturação a partir das equações presentes da Tabela 2 abaixo para a temperatura de  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  (VELOSO, 2019).



**Tabela 2:** Equações para determinação de parâmetros cinéticos de Monod de acordo com a temperatura.

<b>Parâmetros</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
$\mu_{\max}$ (h <sup>-1</sup> )	$(4,05 \pm 1,14) \cdot 10^6 \cdot e^{-(5139,19 \pm 161,01) \cdot \frac{1}{T(K)}}$	0,997
$K_s$ (g.L <sup>-1</sup> )	$(14,35 \pm 1,92) \cdot e^{(7,64 \pm 0,7) \cdot \left(\frac{T(^{\circ}C) - 28}{28}\right)}$	0,98

$\mu_{\max}$ : Taxa de crescimento específico máxima (h<sup>-1</sup>)

$K_s$ : Constante de saturação (g.L<sup>-1</sup>)

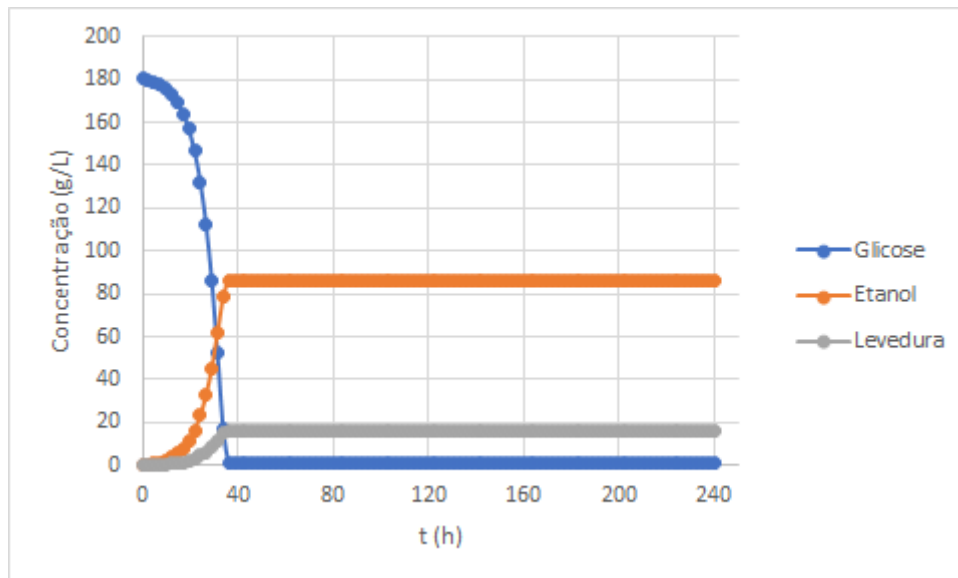
**Fonte:** Adaptado de VELOSO (2019).

Utilizando os valores de parâmetros cinéticos abaixo, o tempo de fermentação para se atingir as concentrações de açúcares residuais e etanol no vinho se tornou mais próximo ao tempo estimado real, estabelecendo-se em torno de 100 horas de acordo com a Figura 22 (b). Todavia, ainda não atinge o esperado de 240 horas, uma vez que devem ser levados em consideração outros fatores do meio que podem influenciar o comportamento da taxa de crescimento da levedura.

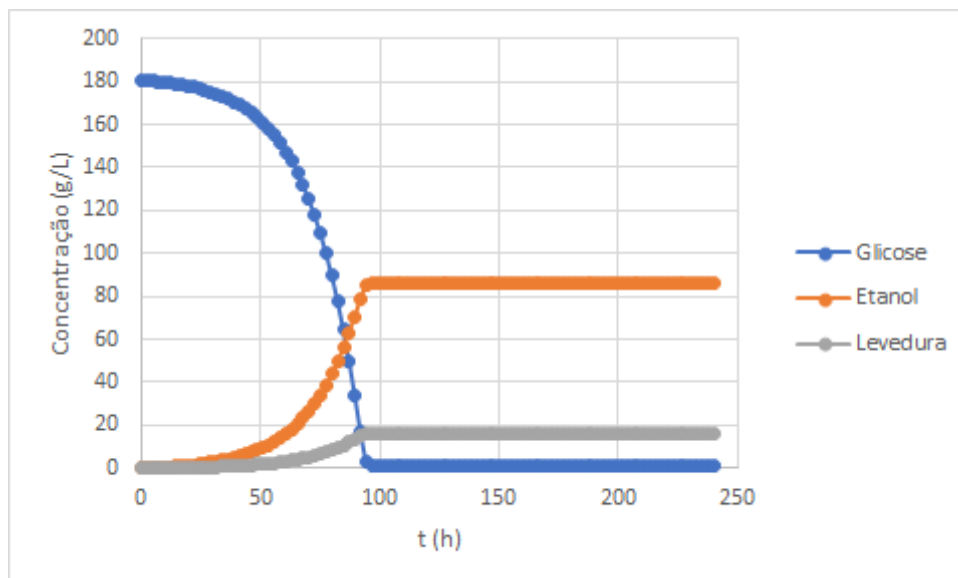
$$\mu_{\max} \text{ (h}^{-1}\text{)} \quad 0,0517$$

$$K_s \text{ (g.L}^{-1}\text{)} \quad 4,943$$

(VELOSO, 2019)



(a)



(b)

**Figura 22:** Variação de concentração de componentes ao longo do processo fermentativo –

(a)  $\mu_{\max} = 0,157 \text{ h}^{-1}$  e  $K_s = 19980 \text{ mg.L}^{-1}$

(b)  $\mu_{\max} = 0,0517 \text{ h}^{-1}$  e  $K_s = 4943 \text{ mg.L}^{-1}$

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

### 4.4.3 ANÁLISE ECONÔMICA

Com o simulador *SuperPro Designer*® também é possível realizar um levantamento econômico do processo, desde o capital de investimento necessário até o custo operacional e a receita obtida. Para isso é necessária a inserção de informações de preço dos materiais, equipamentos e custo com mão de obra, conforme Tabelas 3, 4 e 5.

**Tabela 3:** Preço dos materiais utilizados para produção de vinho.

Material	
Item	Preço (U\$)
Água (U\$/m <sup>3</sup> )	1,41
Saccharomyces C. (U\$/Kg)	30,00
Garrafa vazia (U\$/unid.)	1,92
Rótulos (U\$/unid.)	0,35
Glicol (U\$/MT)	0,35
Energia (U\$/kW-h)	0,10

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

**Tabela 4:** Preço dos equipamentos utilizados para a produção de vinho.

Equipamentos	
Cargo	Custo (U\$)
Esteira	14000,00
Desengaçadeira	13000,00
Pé de Cuba	200,00
Fermentador	2000,00
Tanque	2000,00
Engarrafador/Arrolhador	100,00

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

**Tabela 5:** Custo de mão de obra por hora

<b>Mão de obra</b>	
<b>Cargo</b>	<b>Custo (U\$/h)</b>
Operador	23,00
Supervisor	63,00
Analista de Qualidade	46,00

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

No cálculo do custo operacional, além da mão de obra e do material, também são consideradas as manutenções necessárias nas instalações e o custo com utilidades de energia. Para o valor referente às instalações da planta, o programa utiliza fatores do próprio banco de dados para estimar a depreciação de cada equipamento e o custo de manutenção dos mesmos, além de despesas gerais como seguro e impostos, como pode ser visto na Figura 23.

Facility Labor Lab / QC / QA Utilities Misc


Based on Operating Parameters

Based on Equipment-Usage/Availability Rate

Facility-Dependent Cost =  $\text{SUM}\{(\text{Equipment Rate}) \times (\text{Equipment Hours})\}$

Equipment Hours Calculation

Usage Basis  Availability Basis

 Include / Exclude Equipment...

Based on Facility Availability Rate Use Site Data

Facility-Dependent Cost =  $(\text{Facility Availability Rate}) \times (\text{Hours of Availability})$

Facility Availability Rate  \$/facility-h

Based on Capital Investment Parameters

Facility-Dependent Cost =  $(\text{Depreciation}) + (\text{Maintenance}) + (\text{Miscellaneous})$

Include Maintenance

Use Equipment Specific Multipliers

Estimate as  % DFC (Direct Fixed Capital)

Include Depreciation

Use Contribution From Each Equipment's Undepreciated Purchase Cost

Use Section DFC (Portion Already Depreciated  %)

Include Misc Costs Use Site Data

Insurance  % DFC

Local Taxes  % DFC

Factory Expense  % DFC

OK  Cancelar  Ajuda

**Figura 23:** Janela de registro da estimativa do custo operacional referente às instalações.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

Para o custo com mão de obra, é considerado o tempo de operação total de cada etapa do processo e o ajuste do número de funcionários necessários, por hora, em cada operação do equipamento. O custo por hora de cada funcionário, apresentado na Tabela 5, é inserido pelo próprio usuário.

**Tabela 6:** Custo operacional da planta.

<b>Custo Operacional</b>		
<b>Item</b>	<b>Custo (U\$)</b>	<b>%</b>
Material	9.000,00	4,02
Mão de obra	152.000,00	67,86
Instalações	61.000,00	27,23
Utilidades	2.000,00	0,89
<b>Total (U\$)</b>	<b>224.000,00</b>	<b>100,00</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Na tabela 7, é possível ver os dados gerais do processo de produção do vinho, com um total de horas por batelada, ocorrendo uma vez ao ano, e a quantidade de garrafas obtidas por ano.

**Tabela 7:** Dados de tempo e produção da planta

<b>Dados Gerais do Processo</b>	
Tempo Operacional (h/batelada)	2.522,02
Bateladas por ano	1
Garrafas produzidas (unid.)	3.841

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

O simulador adota alguns fatores do próprio banco de dados para estimar o custo fixo de capital direto investido para construção e montagem dos equipamentos e acessórios adquiridos, definindo-o como *DIRECT FIXED CAPITAL (DFC)*. Com base nos custos investidos em aquisições de equipamentos, o programa é capaz de calcular, em média, custos relacionados a outros parâmetros necessários para as novas instalações, como tubulações e instrumentação, como se observa na Figura 24.

DFC Cost Alloc Misc

Direct Fixed Capital (DFC)  thous. \$

**DFC Estimation Options**

Set by User

**Estimated Based on Total Equipment Purchase Cost (PC)**

PC = Listed Equipment Purchase Cost + Unlisted Equipment Purchase Cost

Unlisted Equipment Purchase Cost  x PC

**PC Factor Options**

Using a Composite PC Factor: DFC =  x PC

Using a Distributed Set of PC-Factors

Direct Fixed Capital (DFC) = Direct Cost (DC) + Indirect Cost (IC) + Other Cost (OC)

Direct Cost (DC)	Use Site Data	Indirect Cost (IC)	Use Site Data
Piping (A) <input type="text" value="0,35"/> x PC	<input type="checkbox"/>	Engineering (H) <input type="text" value="0,25"/> x DC	<input type="checkbox"/>
Instrumentation (B) <input type="text" value="0,40"/> x PC	<input type="checkbox"/>	Construction (I) <input type="text" value="0,35"/> x DC	<input type="checkbox"/>
Insulation (C) <input type="text" value="0,03"/> x PC	<input type="checkbox"/>		
Electrical Facilities (D) <input type="text" value="0,10"/> x PC	<input type="checkbox"/>		
Buildings (E) <input type="text" value="0,45"/> x PC	<input type="checkbox"/>		
Yard Improvement (F) <input type="text" value="0,15"/> x PC	<input type="checkbox"/>		
Auxiliary Facilities (G) <input type="text" value="0,40"/> x PC	<input type="checkbox"/>		

Installation = Installation of Listed Equip. + Installation of Unlisted Equip.

Unlisted Equip. Installation Cost  x Unlisted Equip. PC

DC = PC + Installation + A+B+C+D+E+F+G

**Other Cost (OC)** Use Site Data

Contractor's Fee  x (DC + IC)

Contingency  x (DC + IC)

✓ OK ✕ Cancelar ? Ajuda

**Figura 24:** Janela de registro da estimativa do Capital de investimento pelo simulador *SuperPro Designer*®.

**Fonte:** *SuperPro Designer*®.

Dessa forma foram obtidos os custos de Capital de investimento, explicitados na Tabela 8 e, assim, o balanço econômico geral do processo, tendo não só o capital de investimento necessário, mas o custo operacional e a receita total, capazes de orientar quanto ao tempo de retorno para o lucro.

**Tabela 8:** Capital de investimento necessário para a planta

<b>Capital de Investimento</b>	
Capital Fixo Direto (U\$)	321.000,00
Custo com mão de obra (U\$)	47.000,00
Custo Inicial (U\$)	16.000,00
<b>Total (U\$)</b>	<b>384.000,00</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

**Tabela 9:** Balanço econômico geral do processo

<b>Balanço Econômico do Processo</b>	
Capital de Investimento (U\$)	384.000,00
Custo Operacional (U\$/garrafa)	58,33
Custo Operacional total (U\$/ano)	224.000,00
Receita por garrafa (U\$)	25,00
Receita total (U\$)	96.000,00
Margem bruta (U\$)	- 128.000,00

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Como se pode ver na Tabela 9, a margem bruta do processo apresentado é negativa visto que o custo operacional por batelada é maior do que a receita total gerada pela venda das garrafas a U\$ 25,00 cada. Desta forma, além de não haver um lucro por batelada, não será possível recuperar o capital investido inicialmente, o que o torna economicamente desfavorável.

Diante disso, foram consideradas algumas possibilidades para o aumento da margem bruta e garantia do retorno de investimento. Uma busca maior no mercado por fornecedores de equipamentos e materiais de forma a reduzir o custo com estes itens, o que reduziria o capital de investimento e o custo operacional. Uma primeira possibilidade seria aumentar o ciclo produtivo da planta para duas vezes por ano. Nesse sentido, seria mantida a mesma quantidade de equipamentos presentes na planta. Todavia, com haveria o aumento do plantio de forma que houvesse colheitas em tempos diferentes e para cada um dos dois ciclos se



ajustasse uma entrada de 4.000 Kg de uva, totalizando o processamento de 8.000 Kg por ano. Por outro lado, poderia ser analisado um cenário de produção de um volume maior de vinho, com uma quantidade de uvas cultivadas ainda maior para manter somente um ciclo anual. Apesar de, neste caso, haver a necessidade de fermentadores com capacidade mais elevada, o que requer um investimento maior, acredita-se que o aumento de garrafas a serem vendidas poderia superar este maior custo, aumentando a margem bruta.

Assim, foram realizadas as simulações para um processo com dois ciclos produtivos com entrada de 4.000 Kg para outro com entrada de 12.000 Kg de uva e o uso de quatro fermentadores de 5.000 L, conforme custo indicado na Tabela 1 no Tópico 4.1. Na Tabela 10, observa-se que a margem bruta se manteve negativa, enquanto na Tabela 11, tem-se uma margem bruta positiva de U\$ 2.000,00.

**Tabela 10:** Balanço econômico geral para um processo com dois ciclos produtivos com 4.000 Kg de entrada de uva para cada

<b>Balanço Econômico do Processo (8.000 Kg)</b>	
Capital de Investimento (U\$)	384.000,00
Custo Operacional (U\$/garrafa)	50,46
Custo Operacional total (U\$/ano)	388.000,00
Receita por garrafa (U\$)	25,00
Receita total (U\$)	192.000,00
Margem bruta (U\$)	-196.000,00

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

**Tabela 11:** Balanço econômico geral para um processo com 12.000 Kg de entrada de uva

<b>Balanço Econômico do Processo (12.000 Kg)</b>	
Capital de Investimento (U\$)	1.165.000,00
Custo Operacional (U\$/garrafa)	24,89
Custo Operacional total (U\$/ano)	398.000,00
Receita por garrafa (U\$)	25,00
Receita total (U\$)	400.000,00
Margem bruta (U\$)	2.000,00

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Com o uso de equipamentos de menor custo, essa margem seria ainda maior, visto a redução do custo operacional. Com isso, diminuiria também o tempo de retorno, pois além do aumento da margem bruta, o capital de investimento seria menor, sendo mais rápido de ser suprido pelo lucro obtido por batelada.

## 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo apresentado e a análise realizada, conclui-se que, apesar de algumas limitações identificadas no simulador para um processo fermentativo de produção de vinho, foi possível reproduzir de forma promissora a dinâmica de uma batelada. O programa permitiu a visualização apropriada das correntes de entrada e saída de cada equipamento, com as variações de massa e volume esperadas. Além disso, foram identificados os parâmetros característicos dos equipamentos, tais como a temperatura no fermentador e a cinética da reação, capazes de influenciar em toda a operação e no custo.

Na fermentação alcoólica, apesar do tempo não ter sido o esperado, o teor alcoólico final obtido no vinho foi de acordo com o previsto, visto a quantidade inicial de açúcar no mosto. Acredita-se que a redução no tempo foi influenciada também pela escolha dos parâmetros cinéticos. Desta forma, para uma avaliação mais criteriosa deste resultado, torna-se necessário realizar um estudo experimental considerando a mesma linhagem da levedura, a mesma massa de entrada de uva e com concentração de açúcar e condições de processo semelhantes aos apresentados no presente trabalho.

Em relação ao estudo econômico realizado, o *SuperPro Designer*® permite uma análise completa, apesar de não haver a consideração de inflação. Diante da inviabilidade econômica para o processo com entrada, em massa, de 4.000 Kg de uva, foi alterado este parâmetro a fim de identificar uma carga inicial que o tornasse rentável. Conclui-se, assim, que uma produção a partir de 12.000 Kg de uva garantia um lucro de dois mil dólares por batelada. Identificou-se, por meio desses resultados, a grande influência da mão de obra e da manutenção predial e da planta no custo operacional, o que compromete a lucratividade do processo.

Diante do cenário de prejuízo para o processo com quatro toneladas de uva foi possível visualizar de forma clara uma das vantagens de utilizar um simulador. Obteve-se também todos os novos parâmetros, como os dados de cada corrente e os custos, modificando apenas um dado, a massa de entrada. Dessa forma, o simulador é capaz de tornar mais rápida a análise de um novo processo.

Por fim, deve-se ressaltar que o presente trabalho contribui como base para estudos futuros direcionados ao campo da simulação e modelagem matemática em processos fermentativos e de produção de vinhos. Nesse sentido, uma vez que ainda não se encontram na literatura estudos que utilizam o *SuperPro Designer*® voltados para o mercado do vinho, este projeto traz maior visibilidade e interesse para ferramentas computacionais capazes de verificar a viabilidade no dimensionamento de plantas de forma confiável.

## 5 CONCLUSÃO

Com a proposta de aplicar a ferramenta de simulação *SuperPro Designer*® para um processo artesanal de produção de vinho e perante todo o estudo realizado e resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O simulador *SuperPro Designer*® permitiu a visualização e análise do projeto de uma planta de produção de vinho, mostrando-se adequado a esse processo fermentativo, além de auxiliar na tomada de decisão.
- A análise econômica preliminar indicou que o processamento de quatro toneladas de uva *vitis vinífera Syrah* leva a um custo operacional maior do que a receita por ciclo produtivo.
- Mantendo-se as mesmas características da planta de processamento de quatro toneladas, uma planta de processamento de 12 toneladas mostrou viabilidade econômica.
- Diante do comportamento cinético obtido, sugere-se a realização de um trabalho experimental com as mesmas condições de processo a fim de obter os parâmetros cinéticos exatos para uso no simulador.

## REFERÊNCIAS

BARBARA, J. A.; SILVA, E. A. S.; BIASOTO, A. C. T.; GOMES, A. A.; CORREA, L. C.; LEÃO, P. C. S.; ZINI, C. A. **Maturation and Maceration Effects on Tropical Red Wines Assessed by Chromatography and Analysis of Variance - Principal Component Analysis**. 2019.

BORGES, E. P. **DEGUSTANDO VINHOS: A prática da degustação para iniciantes e iniciados**. Rio de Janeiro, 2016.

BORGES, E. R. **Desenvolvimento de um processo biotecnológico para a produção de ácido succínico por *Actinobacillus succinogenes***. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R.; CARAZZATO, C.; MENDONÇA, J. A.; FILHO, J. A. S. **Produção de Vinho de qualidade**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2015.

BRAGA, D; ALZER, C. **Tradição, conhecimento e prática dos vinhos**. 17. ed. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 2015.

BRASIL. **Decreto Nº 8.198, de 20 de Fevereiro de 2014. Regulamenta a Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988, que dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho**. Seção III. Brasília, DF, [2014]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/decreto/d8198.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/decreto/d8198.htm). Acesso em: 11 jul. 2020.

BRASIL. **Lei Nº 10.970, de 12 de Novembro de 2004. Altera dispositivos da Lei nº 7.678, de 8 de novembro de 1988, que dispõe sobre a produção, circulação e comercialização do vinho e derivados da uva e do vinho, e dá outras providências**. Brasília, DF, [2004]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.970.htm#art9](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.970.htm#art9). Acesso em: 11 jul. 2020.

BRASIL, A. **Quebra de 57% na safra da uva é a maior já registrada no Rio Grande do Sul.** 2016. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-04/quebra-de-57-na-safra-da-uva-e-maior-ja-registrada-no-rio-grande-do-sul#:~:text=A%20safra%20da%20uva%20no,de%20uva%20em%20territ%C3%B3rio%20ga%C3%BAcho>>. Acesso em 07 dez. 2020.

CHERUBIN, R. A. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica.** Estado de São Paulo, Brasil. Fev. 2003.

CIRILLO, B. **Vinhos proibidos: produtores pedem mudança na lei para ampliar mercado.** 2018. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/noticia/2018/05/vinhos-proibidos-produtores-pedem-mudanca-na-lei-para-ampliar-mercado.html>>. Acesso em 24 mar. 2020.

CLAUS, H. **Wine Fermentation. Institute of Molecular Physiology, Microbiology and Wine Research.** Johannes Gutenberg-University of Mainz. Alemanha, 2019.

CHEM 440. **Enthalpy problems KEY.** Disponível em: <[http://dpuadweb.depauw.edu/scrary\\_web/Course\\_Material/Chem\\_440/Problems/problems-%20enthalpy%20KEY.pdf](http://dpuadweb.depauw.edu/scrary_web/Course_Material/Chem_440/Problems/problems-%20enthalpy%20KEY.pdf)>. Acesso em 21 out. 2020.

DANESI, A.; **LAROUSSE do Vinho.** 1. ed. São Paulo/SP: Larousse, 2004.

EMBRAPA. **Sistema de Produção de Vinho Tinto.** 2006. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinho/SistemaProducaoVinhoTinto/recebimento.htm#:~:text=Projetando%2Dse%20um%20rendimento%20m%C3%A9dio,esperado%20%C3%A9%20de%2032.760%20L.>>>. Acesso em 01 jul. 2020.

ESTREICHER, S. K.. **The beginning of wine and viticulture.** Physica Status Solidi C. Lubbock, Texas - Eua, p. 1-5. abr. 2017.

FARIAS, R.; **CURSO BÁSICO.** Associação Brasileira de Sommeliers. Seção Rio de Janeiro, 2016.

FIGUEREDO, E. A. **AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÁCIDO BIO-SUCCÍNICO UTILIZANDO O SIMULADOR SUPERPRO DESIGNER®**. 2017. 1 v. Dissertação - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

FILHO, W. G. V.; MENDES, B. P. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. Fundação Cargill, São Paulo, 2003. v. 3, cap. 19.

FOLLY, Wine. **Color of Wine**. Disponível em: <https://shop.winefolly.com/collections/posters/products/color-of-wine> Acesso em: 25/11/2020.

GAVA, A.; FICAGNA, E.; ROSSATO, S. B. **CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS DE LEVEDURAS COMERCIAIS EM MOSTO DE UVA**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul. Revista CSBEA, 2017. v.3.

GUERRA, C. C.; MANDELLI, F.; TONIETTO, J.; ZANUS, M. C.; CAMARGO, U. A. **Conhecendo o essencial sobre uvas e vinhos**. Amigo do Vinho Brasileiro. Embrapa. Rio Grande do Sul, 2005.

INTELLIGEN, INC. **SuperPro Designer®**. Disponível em: [https://www.intelligen.com/superpro\\_overview.html](https://www.intelligen.com/superpro_overview.html). Acesso em: 02 maio 2020.

JOHNSON, H.; **Atlas Mundial Do Vinho**. 7. ed. rev. e atual. São Paulo: Globo Estilo, 2014. 400 p.

KATZ, S. E. **The Art of Fermentation**. White River Junction, Vt - Eua: Chelsea Green, 2012.

KONIG, H.; CLAUS, H. **A Future Place for Saccharomyces Mixtures and Hybrids in Wine Making**. Institute for Molecular Physiology, Johannes Gutenberg-University. Alemanha, 2018.

MACNEIL, K.; **A Bíblia do Vinho**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2003. 1 v. Tradução de: Laura

Alves e A. Rebello.

MARQUES, C.; **TURISMO: múltiplos olhares, novos desafios.** Carpe Diem. Recife, Pernambuco, 2013.

MELLO, L. M. R.; **Vitivinicultura brasileira: panorama 2017.** EMBRAPA. Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2018.

MELLO, L. M. R.; **Vitivinicultura brasileira: panorama 2018.** EMBRAPA. Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 2019.

MOTA, R. V.; AMORIM, D. A.; FÁVERO, A. C.; GLORIA, M. B. A.; REGINA, M. A.; **Caracterização físico-química e aminas bioativas em vinhos da cv. Syrah I – Efeito do ciclo de produção.** Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 29(2): 380-385, abr.-jun. 2009.

PAL, N.; SILETTI, C.; PETRIDES, D. **Superpro Designer: An Interactive Software Tool for Designing and Evaluating Integrated Chemical, Biochemical, and Environmental Processes.** 2008 AIChE Annual Meeting. Abstract. Novembro. 2008.

PEREGRINO, I. **Influência de leveduras em vinhos de uvas Syrah.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - IFSULDEMINAS. MG. 2020

PRODANOV, M; AZNAR, M.; CABELLOS, J. M.; VACAS, V.; LÓPEZ, F.; HERNÁNDEZ, M. T.; ESTRELLA, M. I. **Tangential-flow membrane clarification of Malvar (*Vitis vinifera* L.) wine: incidence on chemical composition and sensorial expression.** International Viticulture and Enology Society. 2019.

RIBEREAU-GAYON, P.; DUBOURDIEU, D.; DONÈCHE, B.; LONVAUD, A. **Handbook of Enology: The Microbiology of Wine and Vinifications.** Ed. 2. v. 1. 2006.

SANTANA, M. T. A. **Caracterização físico-química, química e sensorial de frutos e vinhos da cv. Patrícia (*Vitis labrusca* L.).** Minas Gerais, Brasil. 2005.

SCHUMACHER, W. **A desengaçadeira e o gosto de engaço.** Revista ADEGA. Set. 2007.



SILVA, G. A. S. **Microrganismos e a elaboração de vinho.** AGEITEC. <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/uva\\_para\\_processamento/arvore/CONT000gasuo51v02wx5ok04xjloyy5fr55z.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/uva_para_processamento/arvore/CONT000gasuo51v02wx5ok04xjloyy5fr55z.html)>. Acesso em: 29 jun. 2020

SOLEAS, G. J.; DIAMANDIS, E. P.; GOLDBERG, D. M.. **Wine as a Biological Fluid: History, Production, and Role in Disease Prevention.** Journal Of Clinical Laboratory Analysis. Canadá, p. 287-313. mar. 1997.

VELOSO, I. I. K.; **Modelagem e otimização da fermentação alcoólica em batelada alimentada a baixa temperatura.** Universidade Federal de São Carlos. São Paulo, 2019.

VIAITA, A.; COSTA, A. C. P. B.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. I.; LOPES, E.; RIBEIRO, E. P.; DONNA, E.; MACÊDO, F. S.; HONCZAR, G.; FERREIRA, J.; GATTI, J. B.; BARBOSA, L.; MADI, L.; TOLEDO, M. P.; REGO, R. A.; DANTAS, T. H. **Brasil Food Trends 2020.** FIESP. ITAL. São Paulo, 2010.

WINE, International Organization Of Vine And. **2019 Statistical Report on World Vitiviniculture.** 2019. Disponível em: <<http://www.oiv.int/public/medias/6782/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

WINE, International Organization Of Vine And. **Focus OIV 2017: Distribution of the world's grapevine varieties.** Paris, França, 2017. Disponível em: <<http://www.oiv.int/public/medias/5888/en-distribution-of-the-worlds-grapevine-varieties.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2019.

WINE, International Organization Of Vine And. **STATE OF THE VITIVINICULTURE WORLD MARKET: State of the sector in 2018.** 2019.

## APÊNDICE I – BALANÇOS DE MASSA E CORRENTES

### Demanda de Material

Material	Kg/batelada	Kg/garrafa
Água	9820,26	2,56
Saccharomyces C.	0,520	0,00014
Dióxido de Enxofre	0,152	0,00004
Mosto	3120,00	0,812
Casca	400,00	0,104
Engaço	280,00	0,073
Semente	200,00	0,052
Ar	0,062	0,00002
<b>Total (Kg)</b>	<b>13820,99</b>	<b>3,597</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

### Demanda de Material por Unidade

Material	Água	Material	Saccharomyces C.	Material	Engaço
Unidade	% Total	Unidade	% Total	Unidade	% Total
P-4	3,98	P-4	100	P-1	100
P-3	15,19				
P-10	20,21				
P-9	20,21				
P-8	20,21				
P-7	20,21				
<b>Total (%)</b>	<b>100,0</b>				

Material	Dióxido de Enxofre	Material	Mosto	Material	Ar
Unidade	% Total	Unidade	% Total	Unidade	% Total
P-10	25,00	P-1	100	P-16	99,38
P-9	25,00			P-17	0,62
P-8	25,00			<b>Total (%)</b>	<b>100,0</b>
P-7	25,00				
<b>Total (%)</b>	<b>100,0</b>				

Material	Semente	Material	Casca
Unidade	% Total	Unidade	% Total
P-1	100	P-1	100

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Nome da corrente	Caixas com uvas	Cachos de uva	Uvas	Resíduos
Origem	INPUT	P-1	P-2	P-3
Destinação	P-1	P-2	P-3	OUTPUT
<b>Propriedades</b>				
Temperatura (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	-	-	-	-
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>				
Casca	400,000	400,000	400,000	4,000
Engaço	280,000	280,000	280,000	277,200
Glicose	624,000	624,000	624,000	0,000
Ácido Málico	7,598	7,598	7,598	0,000
Semente	200,000	200,000	200,000	198,000
Água	2488,402	2488,402	2488,402	0,000
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>4000,000</b>	<b>4000,000</b>	<b>4000,000</b>	<b>479,200</b>

Fonte: Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Nome da corrente	Mosto para levedura (1)	Mosto para levedura (2)	Mosto para levedura (3)	Mosto para fermentação
Origem	P-3	P-3	P-3	P-3
Destinação	P-4	P-4	P-4	P-5
<b>Propriedades</b>				
Temperatura (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	1026,63	1026,63	1026,63	1026,63
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>				
Casca	0,000	0,000	0,000	396,000
Engaço	0,000	0,000	0,000	2,800
Glicose	0,125	0,125	0,250	623,501
Ácido Málico	0,002	0,002	0,003	7,592
Semente	0,000	0,000	0,000	2,000
Água	0,498	0,498	0,995	2486,412
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>0,625</b>	<b>0,625</b>	<b>1,248</b>	<b>3518,305</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>0,609</b>	<b>0,609</b>	<b>1,216</b>	<b>3427,043</b>

Fonte: Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Nome da corrente	Levedura inativa	Água (1)	Água (2)	Água (3)	Levedura ativada	Emissão de vapores
Origem	INPUT	INPUT	INPUT	INPUT	P-4	P-4
Destinação	P-4	P-4	P-4	P-4	P-6	OUTPUT
<b>Propriedades</b>						
Temperatura (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,05	37,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	1050,00	994,70	994,70	994,70	1001,06	0,71
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>						
Glicose	0,000	0,000	0,000	0,000	0,499	0,000
Ácido málico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000
Saccharomyces C	0,520	0,000	0,000	0,000	0,520	0,000
Água	0,000	4,655	4,655	9,310	15,459	5,153
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>0,520</b>	<b>4,655</b>	<b>4,655</b>	<b>9,310</b>	<b>16,484</b>	<b>5,153</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>0,495</b>	<b>4,680</b>	<b>4,680</b>	<b>9,360</b>	<b>16,467</b>	<b>7257,746</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Nome da corrente	Mosto 1	Levedura ativada (1)	SO 2 (1)	CO 2 (1)	Resíduos (1)	S-101
Origem	P-5	P-6	INPUT	P-7	P-7	P-7
Destinação	P-7	P-7	P-7	OUTPUT	OUTPUT	P-11
<b>Propriedades</b>						
Temperatura (°C)	25,00	25,05	25,00	23,97	17,00	17,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	-	1001,06	2,62	1,79	-	972,26
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>						
Dióxido de carbono	0,000	0,000	0,000	69,246	0,000	0,000
Casca	99,000	0,000	0,000	0,000	99,000	0,000
Engaço	0,700	0,000	0,000	0,000	0,700	0,000
Etanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	72,373
Glicose	155,875	0,125	0,000	0,000	0,000	0,836
Ácido láctico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,042
Ácido málico	1,898	0,002	0,000	0,000	0,000	0,348
Nitrogênio	0,000	0,000	0,000	0,943	0,000	0,000
Oxigênio	0,000	0,000	0,000	0,286	0,000	0,000
Saccharomyces C	0,000	0,130	0,000	0,000	13,798	0,000
Semente	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000
Dióxido de enxofre	0,000	0,000	0,038	0,038	0,000	0,000
Água	621,603	3,865	0,000	0,000	0,000	625,468
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>879,576</b>	<b>4,122</b>	<b>0,038</b>	<b>70,513</b>	<b>113,998</b>	<b>700,067</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>-</b>	<b>4,118</b>	<b>14,513</b>	<b>39413,783</b>	<b>-</b>	<b>720,041</b>

Fonte: Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Nome da corrente	Mosto 2	Levedura ativada (2)	SO 2 (2)	CO 2 (2)	Resíduos (2)	S-102
Origem	P-5	P-6	INPUT	P-8	P-8	P-8
Destinação	P-8	P-8	P-8	OUTPUT	OUTPUT	P-12
<b>Propriedades</b>						
Temperatura (°C)	25,00	25,05	25,00	23,97	17,00	17,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	-	1001,06	2,62	1,79	-	972,26
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>						
Dióxido de carbono	0,000	0,000	0,000	69,246	0,000	0,000
Casca	99,000	0,000	0,000	0,000	99,000	0,000
Engaço	0,700	0,000	0,000	0,000	0,700	0,000
Etanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	72,373
Glicose	155,875	0,125	0,000	0,000	0,000	0,836
Ácido láctico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,042
Ácido málico	1,898	0,002	0,000	0,000	0,000	0,348
Nitrogênio	0,000	0,000	0,000	0,943	0,000	0,000
Oxigênio	0,000	0,000	0,000	0,286	0,000	0,000
Saccharomyces C	0,000	0,130	0,000	0,000	13,798	0,000
Semente	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000
Dióxido de enxofre	0,000	0,000	0,038	0,038	0,000	0,000
Água	621,603	3,865	0,000	0,000	0,000	625,468
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>879,576</b>	<b>4,122</b>	<b>0,038</b>	<b>70,513</b>	<b>113,998</b>	<b>700,067</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>-</b>	<b>4,118</b>	<b>14,513</b>	<b>39413,783</b>	<b>-</b>	<b>720,041</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Nome da corrente	Mosto 3	Levedura ativada (3)	SO 2 (3)	CO 2 (3)	Resíduos (2)	S-103
Origem	P-5	P-6	INPUT	P-9	P-9	P-9
Destinação	P-9	P-9	P-9	OUTPUT	OUTPUT	P-13
<b>Propriedades</b>						
Temperatura (°C)	25,00	25,05	25,00	23,97	17,00	17,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	-	1001,06	2,62	1,79	-	972,26
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>						
Dióxido de carbono	0,000	0,000	0,000	69,246	0,000	0,000
Casca	99,000	0,000	0,000	0,000	99,000	0,000
Engaço	0,700	0,000	0,000	0,000	0,700	0,000
Etanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	72,373
Glicose	155,875	0,125	0,000	0,000	0,000	0,836
Ácido láctico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,042
Ácido málico	1,898	0,002	0,000	0,000	0,000	0,348
Nitrogênio	0,000	0,000	0,000	0,943	0,000	0,000
Oxigênio	0,000	0,000	0,000	0,286	0,000	0,000
Saccharomyces C	0,000	0,130	0,000	0,000	13,798	0,000
Semente	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000
Dióxido de enxofre	0,000	0,000	0,038	0,038	0,000	0,000
Água	621,603	3,865	0,000	0,000	0,000	625,468
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>879,576</b>	<b>4,122</b>	<b>0,038</b>	<b>70,513</b>	<b>113,998</b>	<b>700,067</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>-</b>	<b>4,118</b>	<b>14,513</b>	<b>39413,783</b>	<b>-</b>	<b>720,041</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

Nome da corrente	Mosto 4	Levedura ativada (4)	SO 2 (4)	CO 2 (4)	Resíduos (4)	S-104
Origem	P-5	P-6	INPUT	P-10	P-10	P-10
Destinação	P-10	P-10	P-10	OUTPUT	OUTPUT	P-12
<b>Propriedades</b>						
Temperatura (°C)	25,00	25,05	25,00	23,97	17,00	17,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	-	1001,06	2,62	1,79	-	972,26
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>						
Dióxido de carbono	0,000	0,000	0,000	69,246	0,000	0,000
Casca	99,000	0,000	0,000	0,000	99,000	0,000
Engaço	0,700	0,000	0,000	0,000	0,700	0,000
Etanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	72,373
Glicose	155,875	0,125	0,000	0,000	0,000	0,836
Ácido láctico	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,042
Ácido málico	1,898	0,002	0,000	0,000	0,000	0,348
Nitrogênio	0,000	0,000	0,000	0,943	0,000	0,000
Oxigênio	0,000	0,000	0,000	0,286	0,000	0,000
Saccharomyces C	0,000	0,130	0,000	0,000	13,798	0,000
Semente	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000
Dióxido de enxofre	0,000	0,000	0,038	0,038	0,000	0,000
Água	621,603	3,865	0,000	0,000	0,000	625,468
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>879,576</b>	<b>4,122</b>	<b>0,038</b>	<b>70,513</b>	<b>113,998</b>	<b>700,067</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>-</b>	<b>4,118</b>	<b>14,513</b>	<b>39413,783</b>	<b>-</b>	<b>720,041</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.



<b>Nome da corrente</b>	<b>S-105</b>	<b>Vinho (1)</b>	<b>S-106</b>	<b>Vinho (2)</b>	<b>S-107</b>	<b>Vinho (3)</b>	<b>S-108</b>	<b>Vinho (4)</b>
<b>Origem</b>	<b>P-11</b>	<b>P-11</b>	<b>P-12</b>	<b>P-12</b>	<b>P-13</b>	<b>P-13</b>	<b>P-14</b>	<b>P-14</b>
<b>Destinação</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>P-15</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>P-15</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>P-15</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>P-15</b>
<b>Propriedades</b>								
Temperatura (°C)	17,00	18,00	17,00	18,00	17,00	18,00	17,00	18,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	1,21	971,81	1,21	971,81	1,21	971,81	1,21	971,81
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>								
Casca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Engaço	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Etanol	0,000	72,373	0,000	72,373	0,000	72,373	0,000	72,373
Glicose	0,000	0,836	0,000	0,836	0,000	0,836	0,000	0,836
Ácido láctico	0,000	1,042	0,000	1,042	0,000	1,042	0,000	1,042
Ácido málico	0,000	0,348	0,000	0,348	0,000	0,348	0,000	0,348
Nitrogênio	0,650	0,000	0,650	0,000	0,650	0,000	0,650	0,000
Oxigênio	0,197	0,000	0,197	0,000	0,197	0,000	0,197	0,000
Saccharomyces C	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Semente	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Água	0,000	625,468	0,000	625,468	0,000	625,468	0,000	625,468
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>0,847</b>	<b>700,067</b>	<b>0,847</b>	<b>700,067</b>	<b>0,847</b>	<b>700,067</b>	<b>0,847</b>	<b>700,067</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>699,181</b>	<b>720,374</b>	<b>699,181</b>	<b>720,374</b>	<b>699,181</b>	<b>720,374</b>	<b>699,181</b>	<b>720,374</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

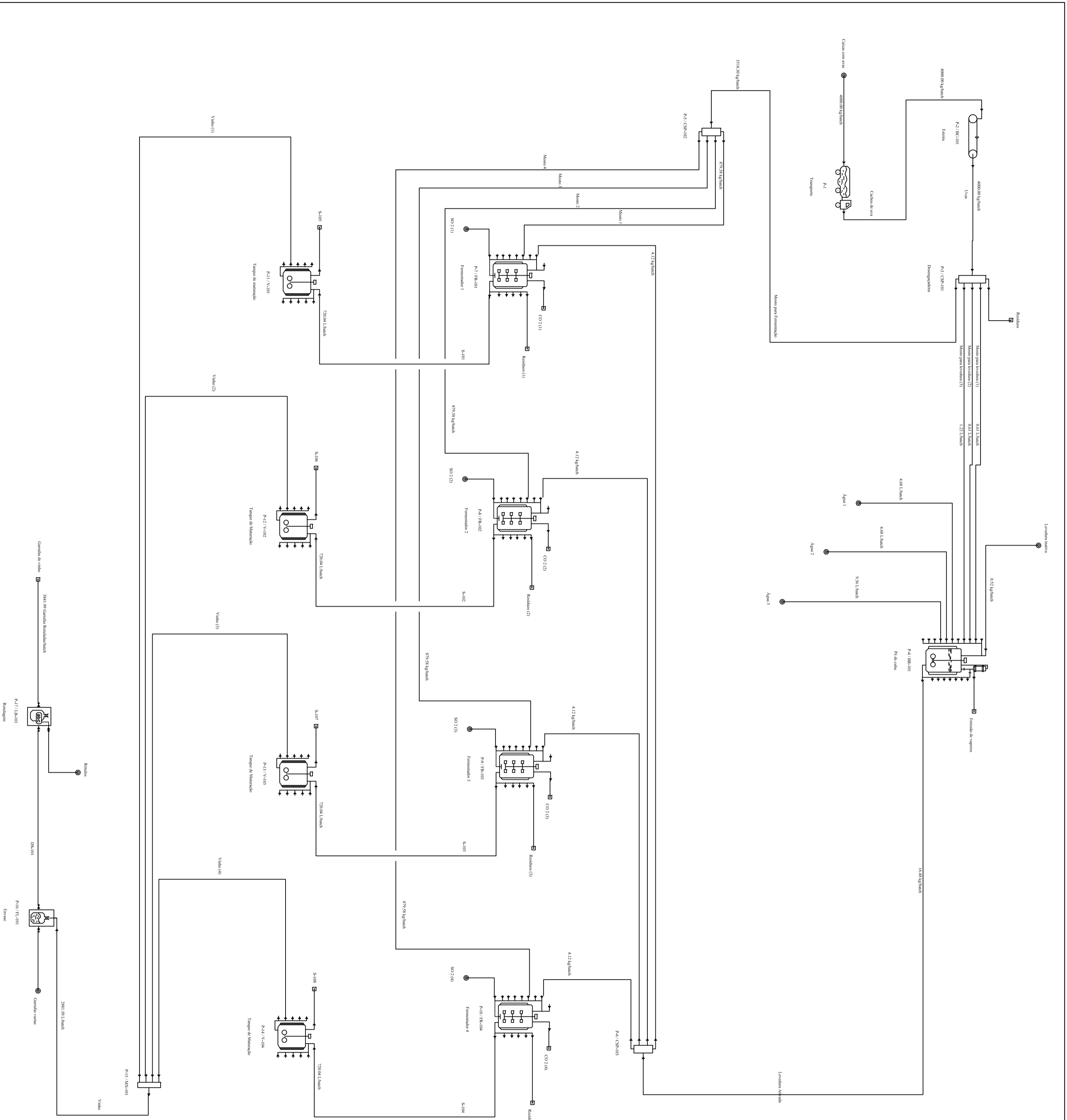
<b>Nome da corrente</b>	<b>Vinho</b>	<b>Garrafas Vazias</b>	<b>DS-101</b>	<b>Rótulos</b>	<b>Garrafas de vinho</b>
<b>Origem</b>	<b>P-15</b>	<b>INPUT</b>	<b>P-16</b>	<b>INPUT</b>	<b>P-17</b>
<b>Destinação</b>	<b>P-16</b>	<b>P-16</b>	<b>P-17</b>	<b>P-17</b>	<b>OUTPUT</b>
<b>Propriedades</b>					
Temperatura (°C)	18,00	25,00	18,00	25,00	25,00
Pressão (bar)	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Densidade (g/L)	971,81	-	-	-	-
<b>Componetes (Kg/Batelada)</b>					
Etanol	289,491	0,000	289,491	0,000	289,491
Glicose	3,346	0,000	3,346	0,000	3,346
Ácido láctico	4,168	0,000	4,168	0,000	4,168
Ácido málico	1,393	0,000	1,393	0,000	1,393
Nitrogênio	0,000	0,047	0,047	0,000	0,047
Oxigênio	0,000	0,014	0,014	0,000	0,014
Água	2501,870	0,000	2501,870	0,000	2501,870
<b>Total (Kg/Batelada)</b>	<b>2800,268</b>	<b>0,061</b>	<b>2800,329</b>	<b>0</b>	<b>2800,329</b>
<b>Total (L/Batelada)</b>	<b>2881,497</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

<b>COMPONENTE (Kg/batelada)</b>	<b>INICIAL</b>	<b>INPUT</b>	<b>OUTPUT</b>	<b>FINAL</b>	<b>IN-OUT</b>
Dióxido de carbono	0,000	0,000	276,985	1,541	-278,526
Casca	0,000	400,000	400,000	0,000	0,000
Engaço	0,000	280,000	280,000	0,000	0,000
Etanol	0,000	0,000	289,491	0,000	-289,491
Glicose	0,000	624,000	3,346	0,000	620,654
Ácido láctico	0,000	0,000	4,168	0,000	-4,168
Ácido málico	0,000	7,598	1,393	0,000	6,205
Nitrogênio	6,685	5,831	6,432	6,083	0,000
Oxigênio	2,029	1,770	1,953	1,847	0,000
Saccharomyces C	0,000	0,520	55,194	0,000	-54,674
Semente	0,000	200,000	200,000	0,000	0,000
Dióxido de enxofre	0,000	0,152	0,152	0,000	0,000
Água	0,000	12308,665	12308,665	0,000	0,000
<b>Total</b>	<b>8,714</b>	<b>13828,536</b>	<b>13827,779</b>	<b>9,471</b>	<b>0,000</b>

**Fonte:** Elaborado a partir dos dados do relatório do *SuperPro Designer*®.

## **APÊNDICE II – FLUXOGRAMA DO PROCESSO**



ALUNOS:		<b>LUCAS B. SALES</b>	
		<b>MARCELLE F. P. COSTA</b>	
PROJETO:		PROJETO DE UMA PLANTA PARA A PRODUÇÃO DE VINHO A PARTIR DE UVAS SYRAH UTILIZANDO O SIMULADOR SUPERPRO DESIGNER®	
TÍTULO:		<b>FLUXOGRAMA DO PROCESSO</b>	
DATA:	25/11/2020	ORIENTADORES:	Profª Maria Antonieta Peixoto Gimenes Couto, D.Sc Prof Elcio Ribeiro Borges, D.Sc
ESCALA:	S/ESCALA		

