

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

PROJETO DE DESTILAÇÃO DO ÁLCOOL NEUTRO PARA A
PRODUÇÃO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS RETIFICADAS

Sophia Sampaio Fonseca

Trabalho de Graduação
apresentado ao Departamento de
Engenharia Química da Universidade
Federal de São Carlos

Orientador: Prof. **João Paulo Silva Queiroz**

São Carlos – SP

2020

BANCA EXAMINADORA

Trabalho de Graduação apresentado no dia 14 de dezembro de 2020 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Silva Queiroz, DEQ/UFSCar

Convidada: Prof.^a Dr.^a Fernanda Perpétua Casciotori, DEQ/UFSCar

Professor da disciplina: Prof. Dr. Marcelo Perencin de Arruda Ribeiro, DEQ/UFSCar

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus pais e família por todo apoio e confiança. À minha mãe, Adriana, pelo carinho e compreensão e ao meu pai, Tertius, pelo zelo e perseverança. Obrigada por tudo, vocês sempre foram minha maior inspiração.

Aos meus amigos, pelo convívio e crescimento. Um carinho especial as meninas do QG, que sem elas, não estaria onde estou e ao RI, por ser tudo (e mais) que eu achei que seria.

Um enorme agradecimento aos projetos de extensão, Operação Natal e EQ Júnior, que me fizeram ser quem eu sou hoje e onde pude trilhar novos caminhos.

Aos professores do Departamento de Engenharia Química da UFSCar, obrigada por todo o conhecimento, em especial aos Prof. Everaldo César da Costa Araújo e João Paulo Silva Queiroz por todos os aprendizados no software *ASPEN PLUS*® e todos os conselhos na graduação. Às Prof.^a Maria do Carmo Ferreira e Adriana Paula Ferreira por todos os ensinamentos e orientações. E, por fim, aos Prof. Fernanda Perpétua Casciotori e Marcelo Perencin de Arruda Ribeiro por comporem minha banca examinadora do trabalho de graduação.

Por último, à cidade de São Carlos, por ter sido meu segundo lar desde 2015.

RESUMO

Segundo dados da ABRABE, Associação Brasileira de Bebidas, em 2018, no Brasil, o setor de bebidas alcoólicas teve uma receita bruta de 23,3 bilhões de reais, produzindo cerca de 4,1 bilhões de litros. Nesse cenário, as bebidas destiladas representaram cerca de 11% do mercado e as bebidas retificadas, gim e vodca, 35% dessa fatia. Além disso, segundo a *Euromonitor International*, essas bebidas apresentaram aumento no consumo no período de 2015 a 2019, indicando uma nova tendência mundial, e, no Brasil, o mercado de gim teve 66% de crescimento. Somado a isso, mudanças de hábito quanto ao consumo de bebidas alcoólicas vêm impactando o setor, principalmente na busca por bebidas de maior qualidade. Dessa forma, realizou-se o estudo do álcool neutro, principal responsável pela composição e qualidade das bebidas retificadas. Abordou-se sobre as principais características desse componente, e todo o processo de fabricação das bebidas retificadas, vodca e gim. Assim, projetou-se uma planta de destilação do álcool neutro, na qual o limite de bateria engloba as etapas de destilação e purificação do produto intermediário, não incluído o tratamento de efluentes gerados no processo e o processo fermentativo do vinho a ser destilado, sendo que sua composição foi determinada por meio de dados obtidos da literatura. A capacidade de produção conta com o processamento de 50.000 kg de vinho por hora, resultando na produção de 3.786,4 kg/h de álcool neutro a 91,9% de pureza em massa. O projeto contou com o pré-dimensionamento de 5 colunas de destilação e aparatos como bombas e trocadores de calor e a precificação desses equipamentos. Na análise econômica preliminar, o Valor Presente Líquido (VPL) foi de 10 milhões de reais para uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 9%, com um *payback* de 4 anos e a Taxa de Retorno de Investimento (TIR) de 22% em um horizonte de 10 anos, o que indica a viabilidade da planta. Por fim, houve a elaboração e descrição do fluxograma do processo, tal como análise preliminar do controle de processos para a planta projetada.

ABSTRACT

According to data from ABRABE, the Brazilian beverage association, in 2018, in Brazil, the alcoholic beverages sector had a gross revenue of 23.3 billion reais, producing about 4.1 billion liters. In this scenario, distilled beverages represented about 11% of the market and rectified beverages, gin and vodka, 35% of this share. In addition, according to Euromonitor International, these drinks showed an increase in consumption in the period from 2015 to 2019, indicating a new world trend, and in Brazil, gin consumption had a 66% growth. In addition, changes in habits regarding the consumption of alcoholic beverages have been impacting the sector, mainly in the search for higher quality drinks. Thus, the study of neutral alcohol was carried out, mainly responsible for the composition and quality of rectified drinks. The main characteristics of this component and the entire manufacturing process of rectified drinks, vodka and gin, were studied. Thus, a neutral alcohol distillation plant was designed, in which the battery limit includes the stages of distillation and purification of the intermediate product, not including the treatment of effluents generated in the process and the fermentative process of the wine to be distilled, its composition being determined through data obtained from the literature. The production capacity relies on the processing of 50,000 kg of wine per hour, resulting in the production of 3.786,4 kg/h of neutral alcohol at 91.9% mass purity. The project included pre-sizing of 5 distilling columns and other equipment like pumps and heaters exchange and pricing of equipment. In the preliminary economic analysis, the Net Present Value was 10 million reais for a Minimum Attractiveness Rate of 9%, with a payback of 4 years and the Intern Rate Return (IRR) of 22% over a 10-year horizon. Finally, there was the elaboration and description of the process flowchart, such as preliminary analysis of the process control for the projected plant.

SUMÁRIO

Banca Examinadora.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas.....	viii
1-INTRODUÇÃO.....	9
2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1-Princípios de destilação.....	11
2.2-Bebidas Alcoólicas.....	13
2.3-Mercado de Bebidas Alcoólicas.....	16
3-ESTADO DA ARTE.....	19
3.1-Bebida Alcoólicas Retificadas.....	19
3.2-Matéria-Prima.....	20
3.3-Preparo do Mosto.....	20
3.4-Fermentação.....	22
3.5-Destilação do Álcool Neutro.....	25
3.6-Fabricação da Vodca.....	30
3.7-Fabricação do Gim.....	30
3.8-Outras Bebidas Retificadas.....	32
4-MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1- Justificativas e Definições.....	35
4.2-Materiais.....	36
4.3-Procedimento de Simulação.....	37
5-RESULTADOS.....	42
5.1-Descrição do Fluxograma.....	42
5.2-Estratégia de Controle de Processos.....	45
5.3-Pré-Dimensionamento dos Equipamentos.....	47
5.4-Análise Econômica Preliminar.....	48
6-CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	50
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Gráfico temperatura-composição da mistura etanol-água.....	12
Figura 2.2.	Esquema simplificado de uma coluna de destilação.....	13
Figura 2.3.	Classificação das Bebidas Alcoólicas.....	15
Figura 2.4.	Comparação entre valor e volume das principais bebidas destiladas..	17
Figura 3.1.	Etapas da produção de bebidas retificadas.....	19
Figura 3.2.	Etapas da fermentação.....	23
Figura 3.3.	Variação de parâmetros durante a fermentação.....	24
Figura 3.4.	Volatilidade de congêneres perante a concentração do etanol.....	26
Figura 3.5.	Destilação do produto intermediário.....	27
Figura 3.6.	Purificação do produto intermediário.....	28
Figura 3.7.	Retirada de congêneres ao longo da coluna.....	29
Figura 3.8.	A e B - Métodos de redestilação do gim.....	32
Figura 4.1.	Limite de Bateria.....	35
Figura 4.2.	Processo simulado.....	37
Figura 5.1.	Fluxograma geral da destilação do álcool neutro.....	43
Figura 5.2.	Malhas de controle de processo.....	45
Figura 5.3.	Fluxo de Caixa.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.	Composição de congêneres nas principais bebidas destiladas.....	16
Tabela 3.1.	Condições do meio para atuação das enzimas.....	21
Tabela 3.2.	Composição do Álcool Etílico Potável de origem potável.....	25
Tabela 3.3.	Principais botânicos utilizados na produção do Gim.....	32
Tabela 4.1.	Composição do vinho a se destilado.....	36
Tabela 4.2.	Análise de sensibilidade para determinar a vazão água na coluna EA.....	38
Tabela 4.3.	Dados das bombas centrífugas.....	38
Tabela 4.4.	Dados dos trocadores de calor.....	39
Tabela 4.5.	Dados da coluna WS.	39
Tabela 4.6.	Dados da coluna CC.....	40
Tabela 4.7.	Dados da coluna EA.....	40
Tabela 4.8.	Dados da coluna RT.....	41
Tabela 4.9.	Dados da coluna DM.....	41
Tabela 5.1.	Composição do álcool neutro simulado.....	44
Tabela 5.2.	Dimensões e custos das bombas centrífugas B1-B4 em aço inox.....	47
Tabela 5.3.	Dimensões e custos dos trocadores de calor múltiplo tubo TC1-TC4 em aço inox.....	47
Tabela 5.4.	Dimensões e custos das colunas de destilação com pratos perfurados em aço inox.....	47
Tabela 5.5.	Relação de entradas e saídas do fluxo de caixa.....	48

1 - INTRODUÇÃO

As bebidas alcoólicas não possuem uma origem definida, no entanto há registros de seu consumo desde a antiguidade nas mais diversas culturas pelo globo, e isso se perpetua até os dias atuais. Seu papel na história é inquestionável, seja como moeda de troca na idade média e sinônimo de riqueza da aristocracia, seja como um dos produtos desejados que impulsionou as grandes navegações, ou ainda como a "coragem líquida" que sustentou soldados nas mais diversas guerras. As bebidas alcoólicas ganharam sua notoriedade medicinal por serem antissépticas, e em alguns momentos, impediram a disseminação de doenças por serem menos susceptíveis a contaminação que a própria água. Hoje, são símbolo de celebrações e fraternidade, movimentam o turismo global e são fonte dos mais diversos estudos (RIBEIRO, 2014).

Neste cenário, as bebidas destiladas, conhecidas do inglês como *spirits*, representadas principalmente pela vodca, rum e cachaça, uísque, gim, tequila e conhaque, que somam juntas cerca de um 37% do mercado de bebidas alcoólicas. Além delas, as cervejas e os vinhos completam com 45% e 17%, respectivamente, o montante econômico do setor. Por outro lado, em termos de volume, a diferença é mais notável quanto a comercialização, sendo somente 9% do volume de bebidas em *spirits*, 7% em vinhos, enquanto as cervejas representam 84% do volume total de bebidas alcoólicas. (ALCOHOL.ORG, 2020).

Segundo grupos como *Euromonitor International* e *IWSR drinks market analysis*, o mercado de bebidas alcoólicas se mantém estável como um todo, em 2018 movimentou cerca de 1 trilhão de dólares e teve um crescimento de 0,1% em 2019 com projeções de crescimento de 3% até 2022, ano em que se projeta a reversão dos impactos trazidos pela pandemia do vírus *Sars-CoV-19*, que impactou negativamente o mercado de bebidas alcoólicas em 2020. Entre as bebidas que tiveram aumento nos últimos anos estão as prontas-para-beber, do inglês *ready-to-drink (RTD)*, bebidas com baixo teor alcoólico, do inglês *soft drinks* e o gim, com um expressivo crescimento de 5% mundial anual desde de 2015 e que no Brasil atingiu elevações de 66% (SALADO, 2020; IWSR, 2020).

Juntamente com isso, o mercado de bebidas passa por mudanças, nas quais nota-se o aumento das vendas de bebidas *premium*, ou seja, que possuem um processo produtivo mais refinado, ingredientes e matérias-primas naturais e de procedência e sejam autênticas, propondo releituras e novos produtos. Dessa forma, o trabalho em questão discorrerá sobre

o processo produtivo do álcool neutro, também conhecido com álcool etílico potável de origem agrícola, que é empregado na fabricação de bebidas retificadas, como vodca e gim, e também em bebidas mistas, em que a boa qualidade do álcool neutro é fundamental para a notoriedade da bebida final produzida (BORTOLETTO, 2020).

Assim, este estudo visa projetar uma destilaria de bebidas de médio-grande porte, onde o principal produto será o álcool neutro para produtores de bebidas retificadas e mistas, e, também para consumidores individuais para produção caseira de bebidas. Visto o aumento da comercialização das bebidas retificadas, impulsionadas principalmente pelo gim, e o restrito comércio do álcool neutro, onde muitos produtores buscam nas importações formas de melhorar a qualidade de suas bebidas, abre-se um mercado da venda do álcool neutro (BORTOLETTO, 2020).

O limite de bateria contemplará o processo pós-fermentativo, contará com o pré-dimensionamento dos equipamentos necessários para a destilação do álcool neutro e a viabilidade econômica preliminar. Além disso, não será incluso ao limite de bateria o tratamento de efluentes gerados, bem como o processo fermentativo do vinho a ser destilado. Por fim, haverá a elaboração e descrição do fluxograma de processo, tal como análise inicial do controle de processos para a planta.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. - Princípios da Destilação

O processo de separação de uma substância ou mistura de substâncias em duas ou mais fases distintas ocorre por meio de diferentes estágios de temperatura, pressão, composição e/ou estado físico da matéria nos quais o meio é imposto. Cada estágio ou fase é responsável por fornecer diferentes características termodinâmicas às substâncias ali presentes, levando a formação de um gradiente onde é atingido um equilíbrio único. Assim, conforme o sistema se modifica em direção a uma fase, isso resulta na separação entre as substâncias (SEADER, 1997).

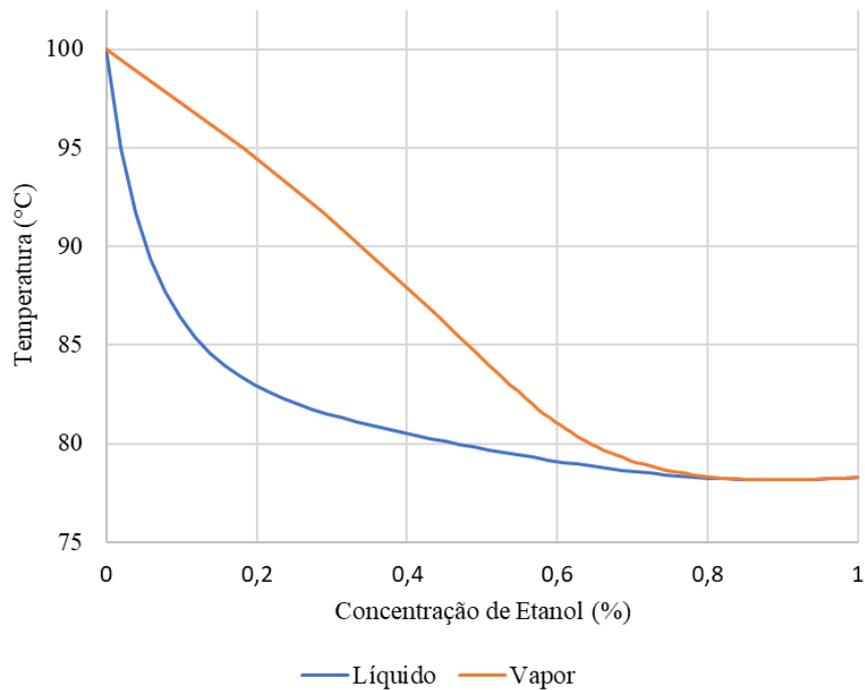
Na destilação, essa separação ocorre por meio do equilíbrio líquido-vapor (ELV) que as substâncias atingem em cada fase. Seja pelo fornecimento de calor através do vaporizador ou pela alimentação direta de vapor (borbotagem), as correntes líquidas e vapor levam a criação de um movimento contracorrente devido suas diferentes densidades. As substâncias com menores pontos de ebulição são arrastadas pela fase vapor, conhecidas como substâncias cabeça, do inglês *heads*, enquanto que as substâncias com maiores pontos de ebulição são carregadas pela fase líquida, denominadas substâncias de cauda, do inglês *tails*. (SEADER, 1997; DRAGONE, 2019)

A volatilidade relativa das substâncias é uma das principais características no processo de separação, onde a variável K indica a razão de equilíbrio entre a concentração na fase vapor pela fase líquida (SMITH, 2007).

Para valores de $K > 1$, a substância em questão tende a se volatilizar mais facilmente, enquanto para valores menores que 1 indica sua maior presença na fase líquida. No caso da mistura etanol-água, devido a não-idealidade da mistura, o valor de K sofre alterações conforme variam-se as concentrações de etanol e água nas fases líquida e gasosa. No processo de destilação em questão, inicialmente, a uma concentração de etanol de aproximadamente 10% v/v, o valor de K é aproximadamente 12 vezes maior em relação ao mesmo K para uma mistura etanol-água a 95% v/v, ou seja, a volatilidade do etanol diminui conforme sua concentração aumenta na fase líquida. Ao se aproximar do valor da azeotropia (concentração na qual a mistura de duas ou mais substâncias passam a se comportar como se fossem uma substância pura, não sendo possível realizar a separação por destilação

convencional), o valor de K tende a 1, que para a mistura etanol-água ocorre a 95,6% m/m. Esse comportamento pode ser ilustrado por meio da Figura 2.1. (SMITH, 2007; DECLoux,2005).

Figura 2.1.: Gráfico temperatura-composição da mistura etanol-água.



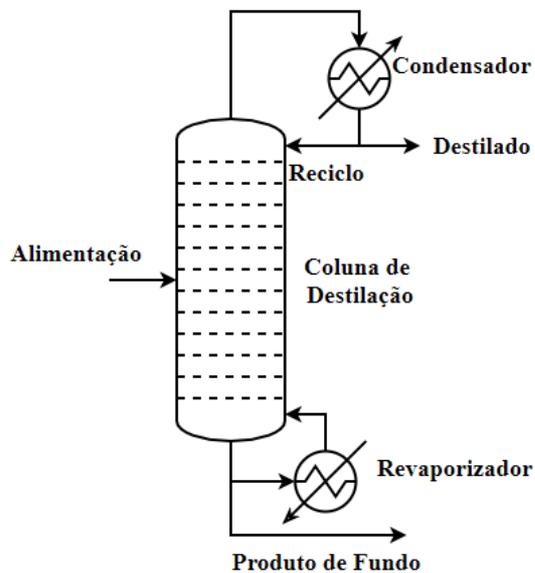
Fonte: Elaboração Própria.

No cenário de fabricação de bebidas alcoólicas destiladas, o processo de destilação consiste principalmente na concentração do etanol. Após a fermentação dos carboidratos, a solução gerada possui concentrações de etanol de 8% a 12% v/v a 25°C. Esse vinho passa então por destilação em alambique (processo batelada ou descontínuo) ou em coluna de pratos (processo contínuo), onde a graduação alcoólica sobe para 40-70% como são os casos do uísque, conhaque, cachaça, rum e tequila. Já para a produção de bebidas retificadas, como vodca e gim, o destilado alcoólico deve atingir 94-96% v/v antes de ser diluído para a produção da bebida final (BUGLASS, 2011).

Na coluna de pratos, muito empregada na produção do álcool neutro, o vinho é alimentado na coluna que passa a ter contato com o vapor, tendo o arraste do etanol (ponto de ebulição 78 °C a 1 atm) para o topo, onde há a condensação e o destilado alcoólico é

dividido em duas correntes, uma destinada para uma próxima destilação e outra que retorna para a coluna como refluxo. Já no fundo da coluna, há a presença do *reboiler* ou revaporizador responsável por gerar o vapor e parte da corrente líquida rica em água (ponto de ebulição 100 °C a 1 atm) é retirada como corrente de fundo. Um esquema simplificado é ilustrado na Figura 2.2 (BUGLASS, 2011).

Figura 2.2.: Esquema simplificado de uma coluna de destilação.



Fonte: Elaboração Própria.

2.2.- Bebidas Alcoólicas

O consumo das bebidas alcoólicas é datado desde antiguidade, e muitos assumem que sua criação foi acidental, onde frutas, grãos e/ou outras fontes de carboidratos após terem entrado em contato com a água e sido "esquecidos", resultaram em uma mistura fermentada alcoólica potável. Na qual, as bebidas provenientes de grãos foram consideradas as primeiras cervejas e a partir de frutas, os primeiros vinhos. Essa descoberta é notável em diferentes partes do globo, e seu consumo logo se popularizou e fez parte das mais diversas culturas (LEAKE, 1971).

As bebidas destiladas surgiram posteriormente, originalmente produzida por cientistas (ou também conhecidos na época como alquimistas), monges e sacerdotes em meados do

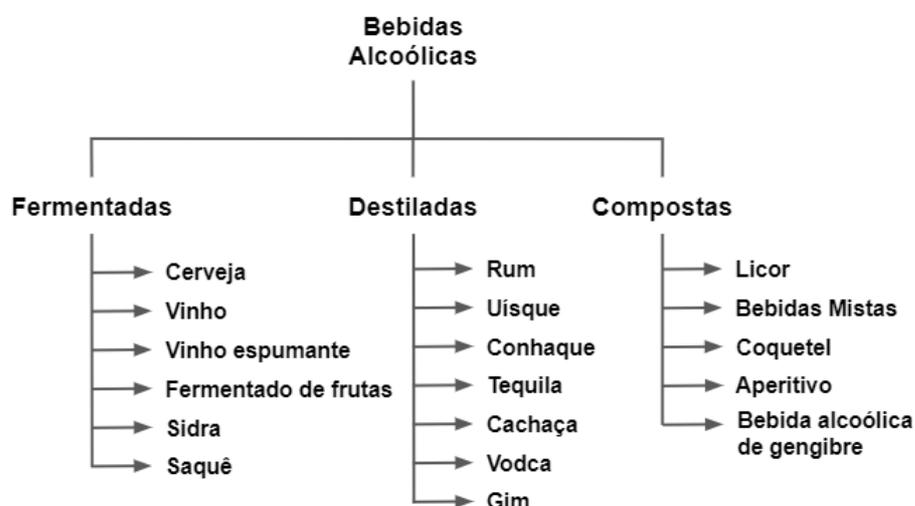
século XII (na Europa Ocidental), nas quais eram utilizadas principalmente como fonte medicinal e receberam o nome de aguardente (do latim, *aqua ardens*). Seu consumo era restrito e seu processo produtivo foi mantido em segredo até por volta do século XV, a partir de quando passaram a ser produzidas por pequenos produtores. E, somente no século XIX, suas produções aumentaram consideravelmente e os processos se tornaram mais refinados, produzindo bebidas de melhor qualidade e mais próximas do que se tem na atualidade (BUGLASS, 2011).

A classificação das bebidas alcoólicas não é um consenso, e varia de acordo com os parâmetros escolhidos como graduação alcoólica e matéria-prima. Neste trabalho, será abordada a classificação em três grupos principais: fermentadas, destiladas e compostas, que se diferenciam pela forma de produção, conforme representado na Figura 2.3. Ainda que todas as bebidas alcoólicas possuam a fase de fermentação, responsável por gerar o etanol, as classificadas como fermentadas são aquelas que não passam por separação térmica após essa etapa. Entre elas estão cervejas, vinhos e vinhos espumantes, sidras e fermentados de frutas (LIMA, 2019; BUGLASS, 2011).

As bebidas destiladas possuem a etapa de destilação em que há a concentração do etanol, responsável também por reduzir a concentração de outras substâncias químicas como aldeídos, ésteres, ácidos e álcoois superiores, que são subprodutos da etapa de fermentação. Assim, por consequência, possuem graduação alcoólica mais elevada que as bebidas fermentadas. Entre as bebidas destiladas, a classificação entre bebidas congenéricas e não congenéricas é amplamente utilizada, ou seja, bebidas que contenham outros agentes químicos em concentrações significativas que possam influenciar a aparência e o sabor da bebida (congenéricas) ou aquelas que possuem basicamente água e álcool em sua composição (não congenéricas). Entre as congenéricas, estão uísques, conhaque, rum, tequila e cachaça, enquanto as não congenéricas são representadas principalmente pela vodca e pelo gim (VARMAN, 1974).

Por último, as bebidas compostas são aquelas originadas da mistura de duas ou mais bebidas alcoólicas ou não alcoólicas, podendo conter açúcares como sacarose, mel ou glicose (em concentrações de 30 a 350 gramas por litro) e ainda serem gaseificadas. Nesse grupo estão os licores e as bebidas mistas, como coquetel, aperitivo, e bebida alcoólica de gengibre. (LIMA, 2019).

Figura 2.3.: Classificação das Bebidas Alcoólicas.



Fonte: Elaboração própria.

A composição química das bebidas alcoólicas destiladas varia de acordo com o tipo da bebida e do processo empregado em sua produção. Algumas das substâncias mais notáveis são o metanol (CH_4O), os ácidos, principalmente o ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), os ésteres como acetato de etila ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$), aldeídos entre eles o acetaldeído ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) e os álcoois superiores ou também chamados de óleo fúsel, como, propanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$), isobutanol ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$) e álcool isoamílico ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$). As concentrações dessas substâncias entre as principais bebidas destiladas estão representadas na Tabela 2.1 (LEAKE, 1971).

No Brasil, as bebidas são regulamentadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, tornou obrigatório o registro, a padronização, a classificação, a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de bebidas em todo o território nacional. Assim, aspectos produtivos, de armazenagem, sanitários, técnicos e de transportes passaram a ser legislados, incluindo também, o uso correto de embalagem e rotulagem das bebidas. Em 4 de junho de 2009, o decreto 6871, foi outro marco importante na legislação de bebidas, principalmente para as alcoólicas. Nas seções IV e V do capítulo VII são indicadas as padronizações das bebidas destiladas e retificadas, respectivamente. Na Tabela 2.1 está representado a composição das principais bebidas destiladas e retificadas. (BRASIL, 1994; BRASIL, 2009).

Tabela 2.1.: Composição de congêneres nas principais bebidas destiladas.

Bebidas Destiladas	Etanol Mín. (v/v %)	Etanol Máx. (v/v %)	Máximo (mg/mL de álcool anidro)				
			Metanol	Ácidos	Ésteres	Aldeídos	Óleo Fúsel
Uísque	38	54	20	150	150	20	300
Gim	34	54	20	Coef. Congêneres máx de 50 mg/mL			
Vodca	36	54	20	Coef. Congêneres máx de 50 mg/mL			
Tequila	35	55	300	-	200	40	500
Conhaque	36	54	600	250	200	40	1000
Rum	35	54	200	150	200	20	260
Cachaça	38	48	20	150	200	30	360

Fonte: MAPA, 2020.

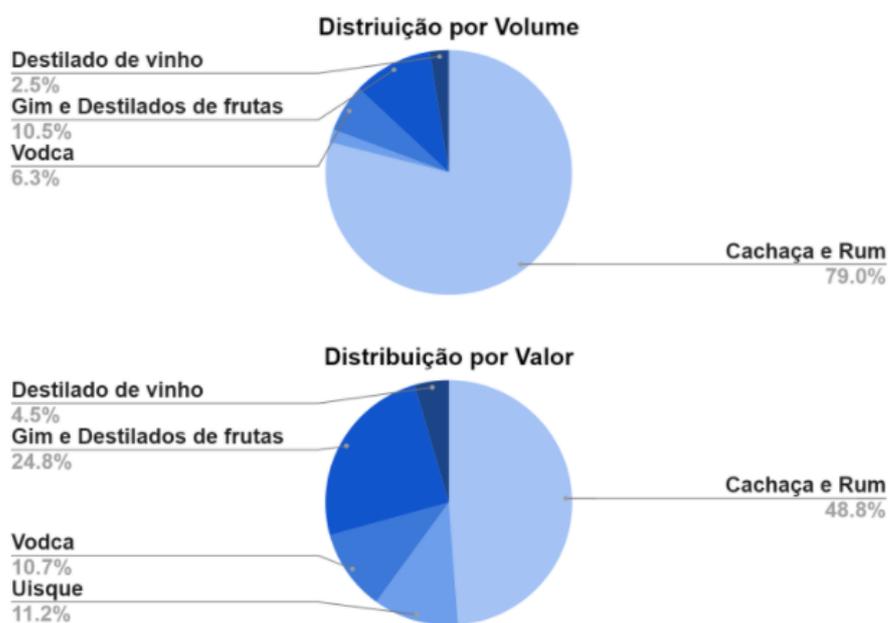
2.3. - Mercado de Bebidas Alcoólicas

O Brasil é o terceiro maior produtor e consumidor de bebidas do mundo, ficando atrás somente dos Estados Unidos e da China, isso reflete a importância do setor, que representa 4% da indústria de transformação brasileira segundo dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2011, onde emprega mais de 144 mil pessoas no mercado formal (CERVIERI JÚNIOR, 2014).

Na indústria de bebidas, em 2011, as alcoólicas representavam 43,6% do volume produzido e 52,1% do valor gerado, onde as cervejas ocupavam 86% e 82%, respectivamente, dessa fatia, as bebidas destiladas 11% e 13% e os vinhos e demais bebidas fermentadas 3% e 5%. Segundo a Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE), em 2018, os associados de bebidas alcoólicas da instituição produziram cerca de 4,1 bilhões de litros de bebida em mais de 48 unidades fabris em 15 estados brasileiros (CERVIERI JÚNIOR, 2014; KPMG; 2019).

Nas bebidas destiladas, cachaça e rum representavam 79% do volume produzido e 48,8% do valor gerado na categoria, para o uísque a produção de 1,7% em volume contou com 11,2% do valor gerado o mesmo aconteceu com a vodca, 6,3% e 10,7% respectivamente. Outros destilados, entre eles o gim e os destilados de fruta foram 10,6% da produção chegando a 24,8% do valor total do ramo e por fim, os destilados de vinho, como conhaque, com 2,5% e 4,5% nessa ordem. Essa comparação pode ser vista na Figura 2.4 (CERVIERI JÚNIOR, 2014).

Figura 2.4.: Comparação entre valor e volume das principais bebidas destiladas.



Fonte: CERVIERI JÚNIOR, 2014.

O contraste entre a parcela do volume produzido e do valor gerado indica a valorização dessas bebidas destiladas, principalmente pelo aumento da competitividade das bebidas brasileiras em termos de qualidade e adequação a parâmetros internacionais. (BORTOLETTO, 2020).

No cenário mundial, a vodca ainda se mantém como a bebida destilada mais consumida com cerca de 4,44 bilhões de litros por ano e o gim ocupa a 4ª colocação com 440 milhões, ficando atrás somente do rum e da cachaça que somando 1,47 bilhões e o *whisky* escocês com 880 milhões, segundo dados do jornal britânico *The Economist* em 2012. Além disso, um estudo da ABRABE com a consultoria *KPMG*, em 2019, apontou o crescimento de mais de 35% do volume de comercialização do gim no Brasil entre 2018 e 2019, que se mantém como tendência desde 2015, e para a vodca o cenário se mantém praticamente estável (THE ECONOMIST, 2012; KPMG, 2019).

Somado ao grande crescimento do gim, que ocorre não só no Brasil como no mundo, outras tendências são apontadas para os próximos anos como aumento das bebidas mistas, entre elas as prontas para beber, do inglês *RTD "ready to drink"*, onde a vodca e o gim são as mais utilizadas na base alcoólica. Além disso, a produção de bebidas de melhor qualidade,

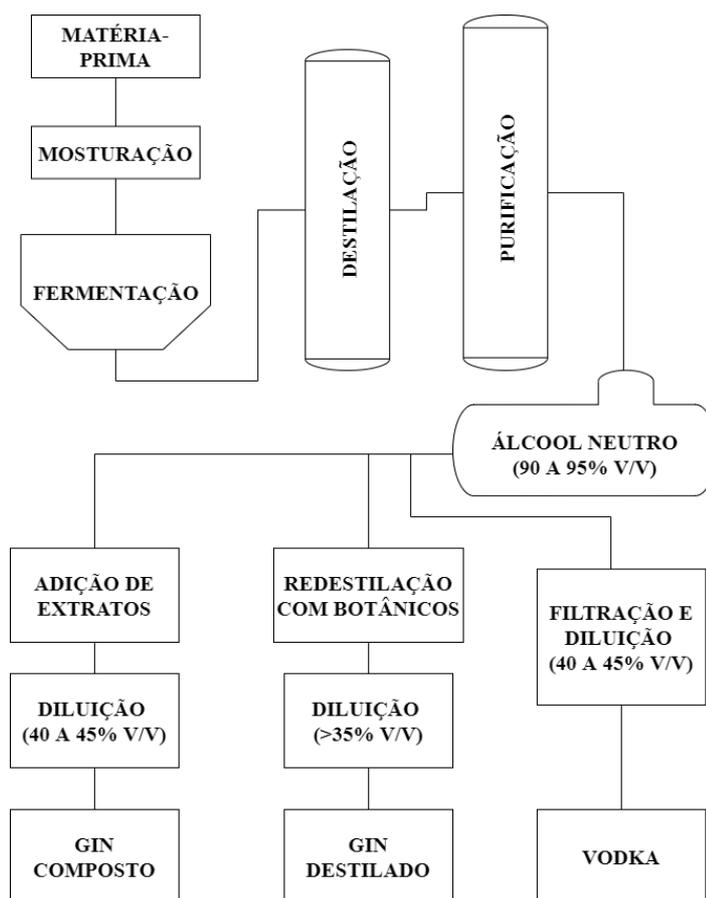
com receitas originais e ingredientes regionais, oferecendo uma nova experiência ao consumidor que procura saber mais sobre os detalhes do produto e leva isso em consideração na hora da compra. E por fim, o fortalecimento da produção em "micro" escala, onde o consumidor produz sua própria bebida, e indicando um novo mercado para álcool neutro engarrafado, que ainda é restrito a poucas marcas internacionais, permitindo assim a criação dos mais variados coquetéis e trazendo o consumidor para a cadeia produtiva no ramo de bebidas, algo semelhante com o ocorrido com a cerveja artesanal há 10 anos atrás (DIFFORD, 2020; KPMG, 2019).

3 - ESTADO DA ARTE

3.1. - Bebidas Alcoólicas Retificadas

As bebidas alcoólicas classificadas como retificadas, são aquelas fabricadas a partir da diluição do álcool etílico potável de origem agrícola. Elas têm como principal característica o maior nível de pureza entre todas as bebidas destiladas, sendo compostas basicamente por álcool e água. Nesta seção serão abordadas as etapas desde a escolha da matéria-prima até a obtenção do produto para duas principais bebidas retificadas mais consumidas no mundo, a vodca e gim, as principais etapas estão simplificadas na Figura 3.1. (AYLOTT, 2003).

Figura 3.1.: Etapas da produção de bebidas retificadas.



Fonte: PAULEY, 2017.

3.2. - Matéria-Prima

As bebidas retificadas podem ser fabricadas a partir de diferentes fontes de carboidratos, sendo a mais comum é a combinação de diferentes cereais da família das gramíneas (*Gramineae*) entre eles trigo (*Triticum vulgare*), milho (*Zea mays*) e o centeio (*Secale montanum*), podendo ou não conter a cevada (*Hordeum polystichum*). Outras fontes também podem ser usadas como tubérculos entre eles a batata (*Solanum tuberosum*), batata-doce (*Ipomoea batatas*) e beterraba (*Beta* spp.), e ainda, melão de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e arroz (*Oryza sativa*). Diferente do *Whisky*, não há nenhuma obrigatoriedade quanto os carboidratos de origem agrícola empregados na fabricação do álcool neutro, então também é possível o reaproveitamento e utilização de farelos e proteína de grãos provenientes de outros processos produtivos (ALCARDE, 2019).

A qualidade dos produtos está diretamente relacionada à presença de contaminantes que podem influenciar na eficiência da fermentação. E entre eles, o emprego da água é fundamental para a qualidade do produto final, e em muitos casos as destilarias possuem meios próprios de abastecimento e/ou armazenamento correto a fim de evitar contaminações no processo. No cenário das bebidas retificadas, a água empregada na diluição do álcool neutro é desmineralizada, e deve conter baixas concentrações de cálcio e ferro diminuindo assim as taxas de oxidação e conseqüentemente a precipitação de sais indesejáveis (DRAGONE, 2019).

3.3. - Preparo do Mosto

A preparação do mosto varia de acordo com a fonte de carboidrato utilizada, no caso dos cereais e da batata, o amido deve ser gelatinizado antes de seguir para a etapa de fermentação, enquanto que no uso de melão ou beterraba, os açúcares se encontram em cadeias menores podendo ser fermentados diretamente (ALCARDE, 2019).

O uso de grãos para a produção do álcool neutro é o mais empregado nas destilarias de bebidas retificadas. Os cereais são moídos em moinho de martelo ou de rolos, onde há a remoção da casca para exposição do endosperma do grão e posteriormente o esmagamento desse interior em menores partículas que facilitaram a ação das enzimas devido o aumento superfície de contato. A casca é separada do endosperma por meio de peneiras vibratórias que estão localizadas na primeira seção do moinho e possuem abertura de 1,6 a 1,8 mm,

posteriormente o interior do grão é quebrado em menores frações passando por peneiras de 0,8 a 1,2 mm e finalmente 0,5 a 0,8 mm. No uso do moinho de martelos as partículas obtidas podem ser até 3 vezes menores que no moinho de rolos e farinha final é homogênea (DRAGONE, 2019).

A seguir, a matéria-prima passa pela etapa de gelatinização do amido, onde é adicionada água na proporção de 2,5 kg/kg grão. O cozimento é realizado a pressões de 2 a 4 atm e temperaturas variando entre 120 a 150 °C por 2 a 3 horas, e agitação se faz presente a fim de homogeneizar o caldo e evitar acúmulo de massa nas paredes do recipiente. Para a adição das enzimas exógenas entre elas alfa-amilases, amilo-glucosidases, dextrinase, glucanases, hemicelulases, proteases e xilanases, o mosto é resfriado entre 45 e 75 °C para que haja a otimização do metabolismo enzimático. Assim, longas cadeias poliméricas são quebradas em monômeros permitindo a realização da fermentação, essa etapa de mosturação dura em média de 1 a 3 horas. As enzimas são provenientes de fungos e bactérias adequados para a indústria de alimentos. Na destilação contínua o mais empregado é a operação de vários tanques em paralelo (DRAGONE, 2019).

Tabela 3.1.: Condições do meio para atuação das enzimas.

Enzimas	Temperatura Ótima (°C)	pH ótimo	Substrato
Hemicelulases	40 a 45	4,5 a 4,7	Hemicelulose
Exopeptidases	40 a 50	5,2 a 8,2	Proteína
Endopeptidases	50 a 60	5,0	Proteína
Dextrinase	55 a 60	5,1	Amido
Beta-amilase	60 a 65	5,4 a 5,6	Amido
Alfa-amilases	70 a 75	5,6 a 5,8	Amido

Fonte: DRAGONE, 2019.

Para a fermentação a partir do melaço, a primeira etapa é a limpeza rigorosa da cana-de-açúcar determinante para a qualidade do mosto a ser fabricado. Após isso, a extração do caldo ocorre tradicionalmente por meio de moenda, sendo que na moagem a cana-de-açúcar é pressionada fisicamente e desfibrada ao passar por rolos compressores, extraíndo assim o caldo. Uma alternativa a moenda é o emprego do difusor que realiza a extração do caldo por meio de osmose e lixiviação. O conteúdo final é uma mistura rica em água, açúcares, não-

açúcares e sólidos insolúveis, sendo orgânicos e inorgânicos, que deve passar por tratamento antes de seguir para a fermentação (MUTTON, 2019).

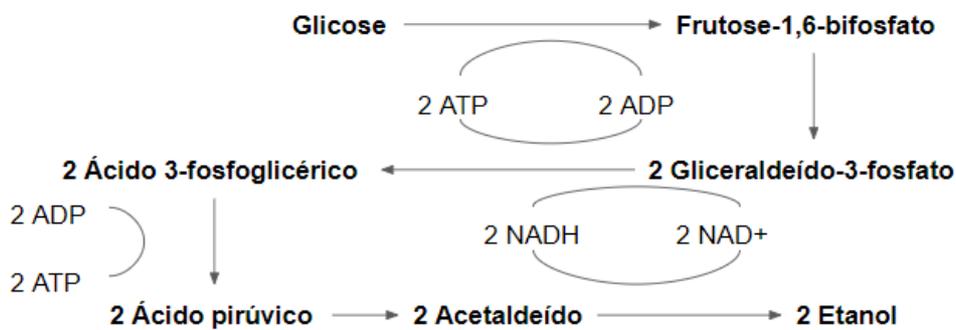
Os sólidos insolúveis como terra, areia e bagacilhos (menores frações de fibras) são retirados por peneiramento ou coadores. Os compostos não açúcares como nitrogênio (N), fósforo (P), magnésio (Mg), zinco (Zn) e cálcio (Ca) são importantes no processo fermentativo e devem ter suas concentrações controladas, enquanto que ácidos orgânicos, ceras e lipídios precisam ser minimizados por influenciarem negativamente no metabolismo das leveduras e levarem a geração de espuma que pode causar o transbordo do conteúdo líquido. Além disso, o mosto passa pelo processo de clarificação onde é adicionado fósforo e cálcio para que haja a coagulação de proteínas e arraste de impurezas para o fundo do decantador, sendo posteriormente separado (MUTTON, 2019).

3.4. - Fermentação

Na etapa de fermentação, o álcool etílico que compõe as bebidas alcoólicas é produzido. Isso ocorre a partir da adição de leveduras (fungos unicelulares) ao mosto, que é um meio rico em substrato, onde a fermentação é realizada e os açúcares são consumidos levando a geração do etanol. A principal levedura utilizada globalmente para a produção de etanol potável e industrial é a *Saccharomyces cerevisiae*, e seu emprego universal decorre da sua capacidade a de realização tanto da respiração quanto da fermentação, onde a primeira ocorre quando a concentração de oxigênio é superior ao substrato do meio e a segunda, quando o oxigênio se apresenta em menores concentrações. (RUSSELL, 2014).

As fontes de açúcar mais comum para a realização da fermentação alcoólica são os monossacarídeos com 6 átomos de carbono ($C_6H_{12}O_6$) glicose, frutose, galactose e manose. Os dissacarídeos com 12 carbonos ($C_{12}H_{22}O_{11}$) sacarose e maltose, passam ainda por um processo de quebra, perante enzimas como sacarase e maltase, para que possam ser consumidas pelas leveduras. Para a geração do etanol, muitas etapas e transformações químicas são necessárias por parte da levedura, sendo que o processo fermentativo pode ser reduzido a três etapas principais: a metabolização do monossacarídeo em piruvato ($C_3H_4O_3$), em seguida, há descarboxilação do piruvato levando a formação do acetaldeído (C_2H_4O) e gás carbônico (CO_2), e por fim, a redução do acetaldeído em etanol, o esquema simplificado está demonstrado na Figura 3.2. (DIAS, 2019).

Figura 3.2.: Etapas da fermentação.



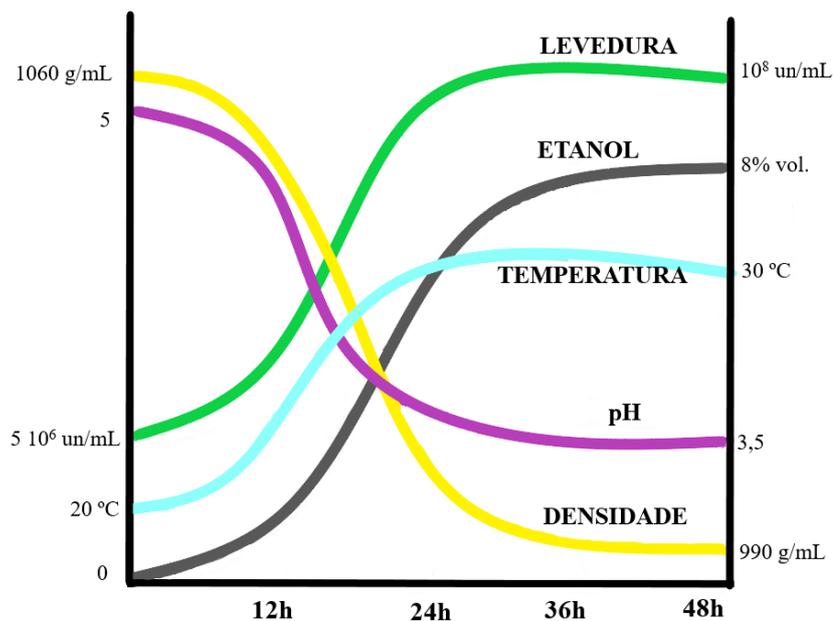
Fonte: VARNAM, 1974.

Outras substâncias são produzidas no processo fermentativo, podendo ser agrupadas em cinco grupos principais: ácidos orgânicos, álcoois superiores, compostos carbonilados, ésteres e compostos sulfurados. Essas substâncias são tratadas como congêneres e são responsáveis pela formação de aroma e sabor nas bebidas alcoólicas, onde suas concentrações serão típicas para cada tipo. A formação dos congêneres depende de fatores como a composição do mosto fermentado, condições de temperatura e pH e concentração e características das leveduras utilizadas. Na produção do álcool neutro, para a vodca e gim, busca-se a minimização dos congêneres e isso ocorre na etapa de purificação (RUSSELL, 2014).

Para a etapa fermentativa, o mosto deve ser resfriado entre 20 a 25 °C para a inoculação da *S. cerevisiae* na concentração de 10^7 a 10^8 células/mL. Assim, a geração do etanol pode ser separada em 3 fases do metabolismo da levedura, representado pela Figura 3.2, a primeira é caracterizada pelo ativo crescimento celular e fermentativo, durando cerca de 24 horas após a inoculação. Nessa etapa, os açúcares são consumidos levando a formação do álcool e gás carbônico, além disso há grande geração de calor nessa etapa sendo necessário o controle da temperatura do tanque fermentativa a fim de manter o metabolismo da *S. cerevisiae*. A segunda etapa consiste na estabilização da fermentação, onde as concentrações dos açúcares já estão em queda e a concentração do etanol atingem cerca 6% v/v. Por fim, a última etapa é caracterizada pelo declínio da taxa de fermentação, ocorrendo após 48 horas da inoculação. A densidade específica do meio é uma das principais características indicativas do final da

fermentação, onde inicialmente o mosto possui cerca de 1060 g/mL chegando a menos de 990 g/mL ao término (DRAGONE, 2019).

Figura 3.3.: Variação de parâmetro durante a fermentação.



Fonte: RUSSELL, 2014.

A eficiência da fermentação depende de fatores como controle da temperatura e pH do meio, concentração e características biológicas das leveduras utilizadas e da oferta de açúcares fermentáveis e demais nutrientes (principalmente nitrogênio, que atuará na fase de crescimento celular) dessa forma, a conversão de açúcares fermentescíveis em etanol é de cerca de 80%, podendo chegar a 95% em ambientes mais controlados. Outra característica do mosto das bebidas destiladas é a não realização da fervura, como ocorre na fabricação de cerveja, o que resulta em duas principais consequências, uma maior possibilidade de contaminação por bactérias pela não-esterilidade e a continuidade da hidrólise do amido pelas enzimas utilizadas no preparo do mosto, levando a produção de um caldo fermentado menos denso e rico em etanol que o gerado para cerveja (OLIVER, 1982; RUSSELL, 2014).

Os inóculos de *S. cerevisiae* mais comuns da indústria de bebidas são: torta prensada (com 28 a 35% de massa seca), na forma de creme ou pasta (15 a 20% de massa seca) e concentrado seco (podendo chegar a 95% massa seca), sendo que escolha dependerá

principalmente do porte da destilaria, pequenos produtores optam pelas leveduras secas pois possuem maior prazo de validade (cerca de 1 ano) enquanto que grandes produtores usam a versão pastosa devido sua grande rotatividade de matéria-prima e baixo custo (validade de 1 mês) (PAULEY, 2017).

3.5. - Destilação do Álcool Neutro

A etapa de destilação é mais importante para a produção das bebidas retificadas, nela que o álcool neutro é destilado atingindo concentrações de 95-96% v/v. O álcool neutro foi definido pelo *Council Regulation*, comunidade europeia em 1989 como álcool etílico originado exclusivamente de fontes agrícolas para a fabricação de bebidas, ou seja, o álcool proveniente de recursos fósseis não pode ser utilizado para esse fim. Além disso, o álcool neutro deve conter baixas concentrações de componentes orgânicos, como ácido acético, acetato de etila, acetaldeído, isobutanol e metanol. Na Tabela 3.2, apresenta-se a comparação entre as concentrações permitidas no Brasil, na Europa e nos Estados Unidos. (AYLOTT, 2003).

Tabela 3.2.: Composição do álcool etílico potável de origem agrícola.

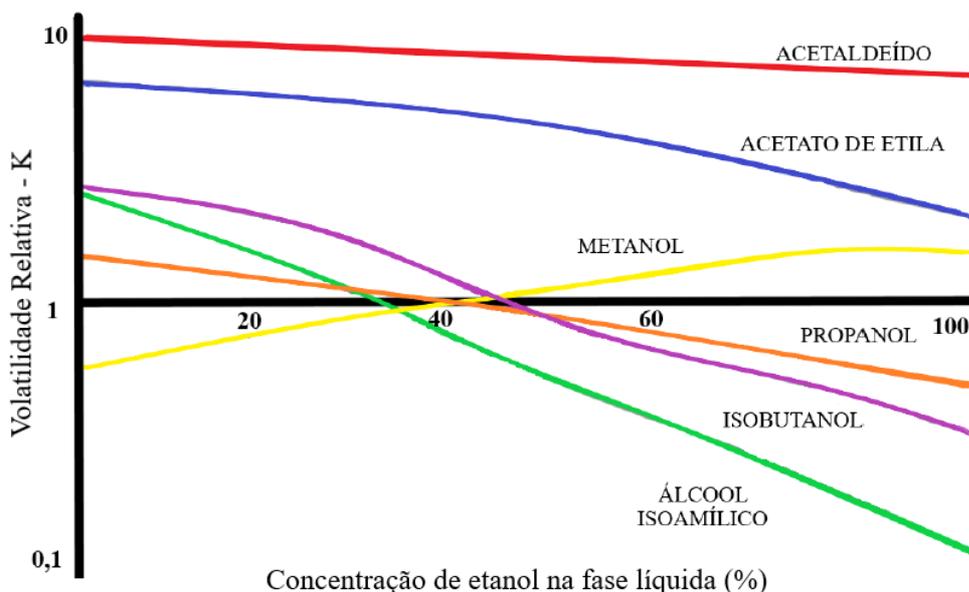
Etanol	95% a 96 v/v		
	Máximo (mg/mL de álcool anidro)		
Congêneres	Brasil	Europa	EUA
Acidez (ácido acético)	Coeficiente de congêneres máx. de 50 mg/mL	15	12
Ésteres (acetato de etila)		13	30
Aldeídos (acetaldeído)		5	2
Álcoois superiores		5	10
Metanol		20	50

Fonte: MAPA, 2020; BATISTA, 2013.

Para obtenção do álcool neutro, o vinho de levedurado deve ser purificado e concentrado por meio da destilação em colunas contínuas, com sistemas de 3 a 5 colunas, onde ocorrerá a remoção dos congêneres presentes e o aumento da graduação alcoólica até o ponto da azeotropia como mencionado na seção 2.1. A destilação se dá por 2 etapas principais, a primeira contendo 2 colunas onde será produzido o álcool neutro intermediário com aproximadamente 96% v/v e presença de congêneres e uma segunda etapa, responsável

pela purificação podendo conter de 1 a 3 colunas, levando a formação do álcool neutro para produção das bebidas retificadas (BATISTA, 2013).

Figura 3.4.: Volatilidade de congêneres perante a concentração do etanol.

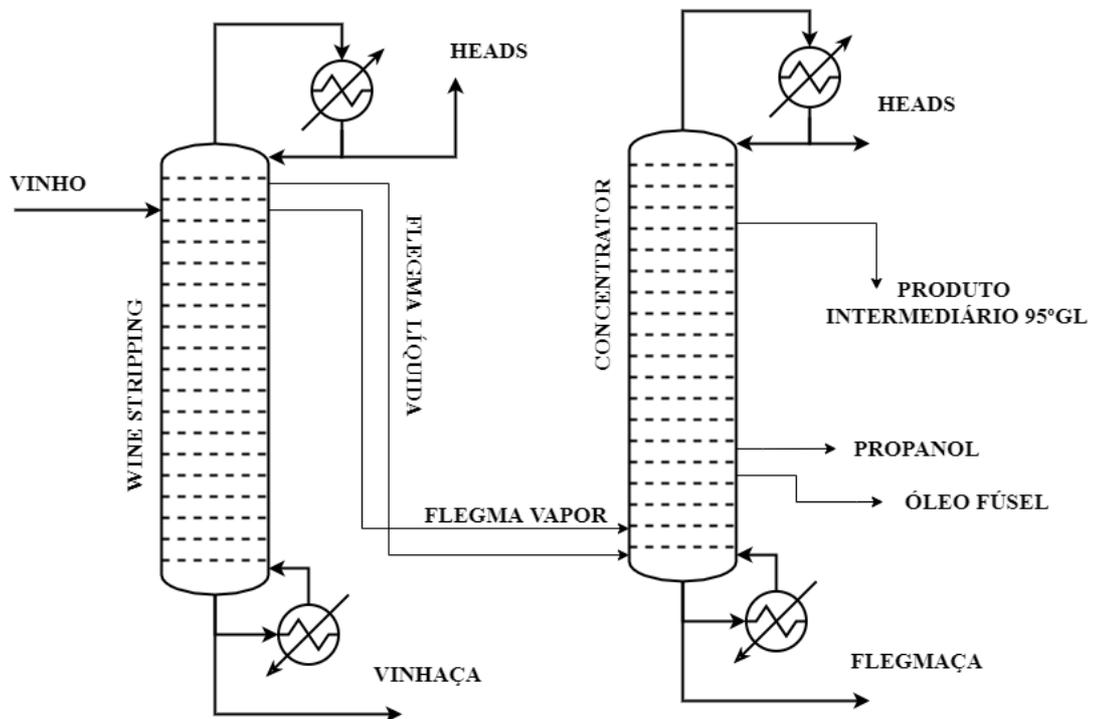


Fonte: DECLOUX, 2005.

A Figura 3.4 indica a volatilidade relativa das principais substâncias congêneres em relação ao etanol. Esse coeficiente não tem um comportamento ideal e é alterado conforme o etanol se concentra na coluna, assumindo diferentes valores para cada prato. Componentes com valores de $K > 1$, como aldeídos, são mais voláteis e sendo carregados para o topo, considerados cabeças ou *heads*. Já os componentes com $K < 1$, são menos voláteis e tendem a se acumular no fundo, chamados de caudas ou *tails*. No entanto, a maioria dos congêneres têm variações no comportamento do K, ora maior que 1 e ora menor, como é o caso do óleo fúsel (propanol isobutanol e álcool isoamílico) e acetato de etila, onde o K diminui com aumento da concentração de etanol, conforme indicado na Figura 3.4, sendo assim, suas retiradas devem ocorrer nos níveis em que há maior acúmulo. No caso do metanol, o valor de K tende a aumentar conforme a concentração de etanol aumenta, usualmente é o último congêner a ser eliminado, como será explicado a seguir. Por ser um processo com múltiplos componentes, suas separações do etanol devem ocorrer por meio de diferentes colunas, com

extrações de congêneres em diferentes pratos a fim de se ter uma mínima perda de etanol e uma máxima retirada de impurezas (DECLoux, 2005).

Figura 3.5.: Destilação do produto intermediário.

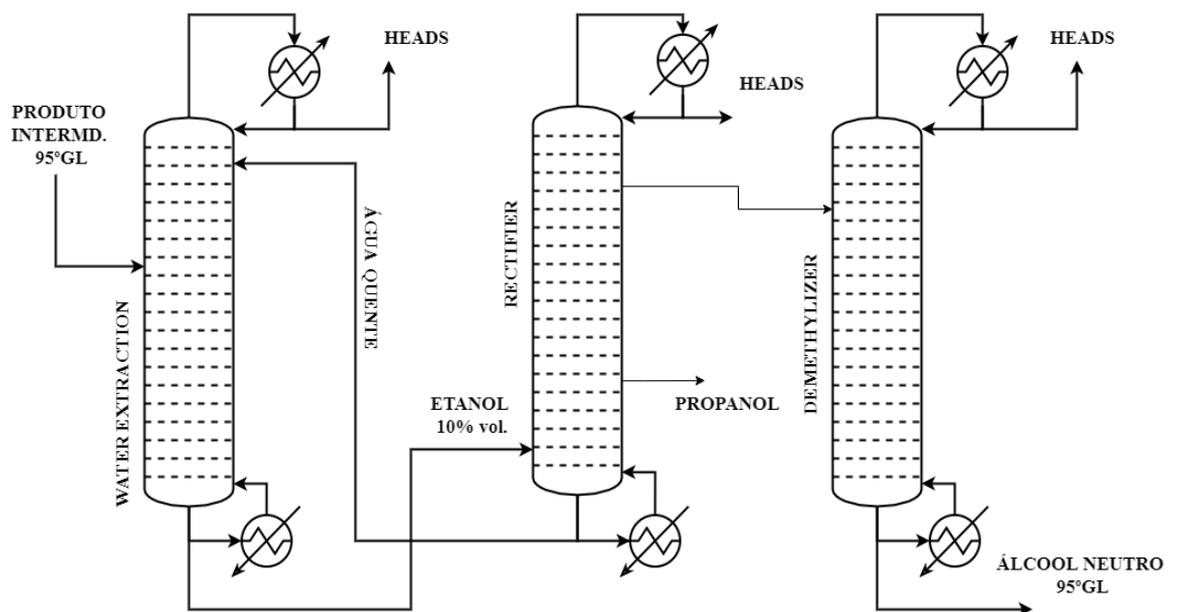


Fonte: PIGGOTT, 2003.

A primeira etapa, indicada pelas colunas da figura 3.5, se caracteriza pelo processo mais tradicional de destilação do álcool, também empregado na produção do etanol hidratado previamente ao desidratado, utilizado em combustíveis. Assim, o vinho é alimentado na seção epuração do vinho (6-8 pratos), sendo previamente aquecido a cerca de 93 °C, onde entrará em contato com o vapor alimentado/gerado na base da seção de esgotamento (16-24 pratos), levando à volatilização dos componentes com menores temperaturas de ebulição que são arrastados para a seção de concentração dos componentes de cabeça ou *heads* (6 pratos). Do topo da seção de esgotamento, é retirada o vapor de flegma (40% m/m de etanol) que será alimentado na coluna de retificação e do fundo, é extraído a vinhaça (0,02% m/m de etanol). Da seção de concentração de cabeças, há a condensação desses componentes voláteis e, da base, é retirada a flegma líquida que também alimentará a coluna de retificação (DIAS, 2008).

Na coluna de retificação (40 pratos), há a alimentação das flegmas vapor e líquida que serão retificadas pelo vapor alimentado/gerado no fundo da seção de esgotamento (13 a 40 pratos). O etanol obtido terá concentrações próximas da azeotropia, e seguirá para as colunas de purificação indicadas na figura 3.6. Na seção de retificação, há remoção dos componentes de cabeça enquanto que na seção de esgotamento é retirado óleo fúsel, mistura de álcoois superiores principalmente o isoamílico e a flegmaça (que não deve conter mais que 0,02% em etanol) (DIAS, 2008).

Figura 3.6.: Purificação do produto intermediário.



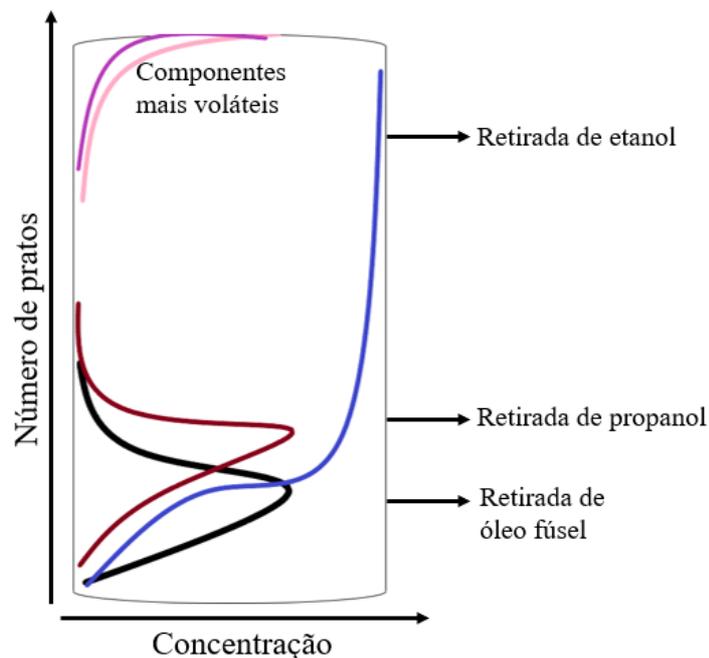
Fonte: PIGGOTT, 2003.

A etapa de purificação varia de acordo com a matéria-prima utilizada, que resulta em diferentes concentrações dos congêneres presentes no mosto de levedurado. Uma forma muito empregada para remoção ainda maior dos congêneres presentes no etanol intermediário é extração com água, isso ocorre devido às características hidrofílicas do etanol, enquanto substâncias como óleo fúsel são hidrofóbicas. Assim, na coluna extrativa (com 40-50 pratos), há a adição de água, em forma de reciclo da coluna de retificação, levando a alteração do coeficiente de atividade das substâncias presentes e responsável pelo arraste do etanol e metanol para o fundo da coluna, enquanto que substâncias hidrofóbicas serão carregadas para o topo por meio do vapor alimentado/gerado na base da coluna

extrativa. Esse equilíbrio de alimentação de água e vapor deve ser acompanhado a fim de que não haja grandes perdas de etanol por vaporização. A proporção de água alimentada pode variar 8-15 partes para 1 de etanol (PIGGOT, 2003).

Na coluna de retificação, a purificação do etanol é continuada, e busca-se o aumento da graduação alcoólica após o processo extrativo com água, onde a corrente possui concentrações de 60 a 68% v/v. Essa coluna apresenta o maior número de pratos, variando de 60 a 80, e deve ser estabilizada de forma a evitar a concentração de congêneres no topo e no fundo. A remoção do isopropanol ocorre no prato em que a concentração de etanol é de aproximadamente 80% enquanto para o óleo fúsel ocorre na concentração de 65%, conforme indicado na Figura 3.7, o álcool purificado é então removido cerca de 5 pratos abaixo do topo da coluna (PIGGOT, 2003).

Figura 3.7.: Retirada de congêneres ao longo da coluna.



Fonte: PIGGOTT, 2003.

A última coluna, é responsável pela remoção do metanol, do inglês *desmethylizing column*, que tem suas concentrações mais elevadas em mostos fermentados a partir de tubérculos como a batata (processo mais tradicional na produção de vodca), mas pode ser

necessária nas bebidas feitas pela fermentação de grãos caso não haja a remoção do metanol nas colunas iniciais. Dessa forma, o etanol é alimentado na coluna e destilado, onde o metanol é retirado no topo por ser menos volátil e o álcool neutro é obtido no fundo da coluna (PIGGOT, 2003).

3.6. - Fabricação da Vodca

A *Vodka* é uma bebida oriunda da Rússia e do atual leste europeu, e seu nome vem do eslavo "querida água" (tradução livre), onde há relatos de seu surgimento no final do século XVI, quando a bebida era tratada como sinônimo de qualquer destilado proveniente de grãos e ainda tinha um processo simplificado de produção, contendo congêneres e baixa purificação. Somente a partir século XIX, seu processo de fabricação passou a ser mais criterioso, atingindo os padrões de pureza que se conhece atualmente (PAULEY, 2017).

Para a produção da vodca, o álcool neutro pode ou não ser tratado com carvão ativado antes de ser diluído com água para ser engarrafado, no qual o produto final atinge concentrações médias de 37-40% v/v. O uso do carvão ativado dependerá do nível de pureza obtido do álcool neutro, na maioria dos casos ele ainda é empregado, onde a etapa de adsorção pode durar em média 8 horas. Há registros de destilarias que contam com 8 ou mais colunas no processo de obtenção do álcool neutro, sendo irrelevante o uso do carvão ativado (LACHENMEIER, 2008; VRIESEKOOOP 2018).

Diferentes tipos de carvão ativado podem ser empregados a fim de remover diferentes congêneres, o PKH atua diminuindo a acidez (removendo fenóis, furfural e aldeídos), o tipo DW além de atuar na acidez, adsorve álcoois superiores. Já SX-I e SX-II, atuam na clarificação da bebida e remoção de ésteres etílicos e ácidos graxos superiores. Outro ponto fundamental para fabricação de uma vodca de alta qualidade é o uso de água, que irá compor cerca de 60% em volume do produto final, ela deve ser desmineralizada, e usualmente também passa pelo processo de filtração por carvão ativado, resultando assim em uma bebida que após ser engarrafada pode ficar estável por vários anos. (LACHENMEIER, 2008; ALCARDE, 2019).

3.7. - Fabricação do Gim

O *Gin* é uma bebida retificada cuja sua principal característica é a presença do sabor proveniente do zimbro (*Juniperus communis*) e podendo conter também outros botânicos. O nome vem da palavra francesa *genièvre*, que significa zimbro. Essa bebida surgiu na Holanda, no séc. XVII, quando, no primeiro momento, era tratado como medicamento, onde estudava-se os efeitos do óleo extraído do zimbro em doenças relacionadas ao rim e viu-se na mistura alcoólica uma melhor ingestão e reação das substâncias. No entanto, em poucas décadas, a bebida se popularizou e foi na Inglaterra que ela ganhou mais força e notoriedade, já no séc. XVIII, impulsionado pela revolução industrial, sua produção foi expandida e seu consumo aumentou consideravelmente entre as classes mais populares. A produção ainda era rudimentar e pouco fiscalizada, os destilados obtidos continham grandes concentrações de metanol e óleo fúsel, que muitas vezes eram mascarados pela presença do zimbro e outros botânicos, o que resultou na intoxicação de milhares de pessoas, levando o governo a decretar o *Gin Act* (1736) que buscava regularizar e licenciar os produtores (BUGLASS, 2013).

O gim contém sabores e essências provenientes de botânicos, como plantas e flores aromatizantes, frutos e extratos proveniente de sementes, alguns dos mais utilizados estão descritos na tabela 3.3. As combinações desses diversos elementos levam a receitas únicas, semelhante ao processo de criação de perfumes, onde no gim a presença do *J. communis* é obrigatória e deve ser marcante, e a adição de diferentes botânicos eleva a qualidade e notoriedade da bebida, receitas com 5 a 10 tipos diferentes são o padrão do mercado, e acima disso são consideradas bebidas de um padrão superior (*premium*) (DIFFORD, 2020).

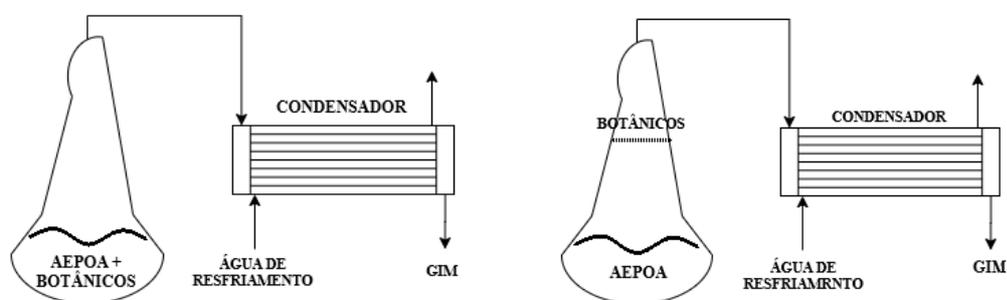
Tabela 3.3.: Principais botânicos utilizados na produção do Gim.

Botânicos	Nome Científico	Sabor e Notas
Bagas de Zimbro	<i>Juniperus communis</i>	Pinho cítrico
Semente de Coentro	<i>Coriandrum sativum</i>	Cítrico e picante
Casca de laranja	<i>Citrus sinensis</i>	Amargor adocicado
Casca de limão	<i>Citrus limon</i>	Frescor cítrico
Angélica	<i>Archangelica officinalis</i>	Amargor herbal
Orris (raiz de lírio)	<i>Iris germanica</i>	Amargor perfumado
Gengibre	<i>Zingiber officinale</i>	Frescor picante
Canela	<i>Cinnamomum verum</i>	Picante
Alcaçuz	<i>Glycyrrhiza glabra</i>	Doce amadeirado
Noz-moscada	<i>Myristica fragrans</i>	Aromático picante
Amêndoas	<i>Prunus dulcis</i>	Frescor amendoado
Hibisco	<i>Hibiscus sp.</i>	Aromático amargor
Cássia	<i>Cinnamomum cassia</i>	Picante
Pimenta de Java	<i>Piper cubeba</i>	Cítrico picante
Pimenta Malagueta	<i>Capsicum frutescens</i>	Ardência picante

Fonte: DIFFORD, DIAGEO, PAULEY, 2017.

Os métodos de infusão dos botânicos se dão pela redistilação do álcool neutro na presença dessas substâncias maceradas. Na Figura 3.8-A, o álcool neutro é aquecido juntamente com os botânicos e na Figura 3.8-B, a saborização ocorre pela vaporização do álcool neutro, no qual o vapor alcoólico será o responsável por extrair as essências dos botânicos. Em ambos os casos, o vapor é posteriormente condensado levando a formação de um álcool com grande carga sensorial que é por fim diluído em água atingindo concentrações médias de 40% v/v (VRIESEKOOOP, 2018).

Figura 3.8. – A e B: Métodos de redistilação de gim.



Fonte: VRIESEKOOOP, 2018.

3.8. - Outras Bebidas Retificadas

O gim e a vodca representam as parcelas mais significativas das bebidas retificadas consumidas no mundo, no entanto outras variedades também compõem essa categoria como é o caso da *Aquavit* (ou *Akvavit*), *Korn* (ou *Corn*), *Geneva* (ou *Jenever*), *Steinhäger*, *Ouzo*, *Pastis*, *Absinthe* (ou absinto), *Soju* e *Shochu* (AYLOTT, 2003).

No caso das bebidas *Aquavit* e *Korn*, seus processos de fabricação se assemelham a da vodca. *Aquavit* possui graduação alcoólica de 35%-40% v/v, e tem sua maior produção e consumo no leste europeu, principalmente nos países escandinavos. Sua principal característica é a presença de sementes de alcarávia (*Carum carvi*) além de outros botânicos, com exceção do zimbro, no processo de maceração e redistilação do álcool neutro. Isso leva a saborização da bebida, devido a presença de S-carvona (C₁₀H₁₄O) e limoneno provenientes da semente de alcarávia, o que não ocorre na vodca. Essa bebida também pode passar por envelhecimento em barris de carvalho antes de ser engarrafada (VRIESEKOOOP, 2018).

Korn é uma bebida típica do norte da Alemanha, e tem como característica a fermentação de cereais nativos do país: cevada, trigo sarraceno, centeio e/ou trigo. Além disso, após o processo de destilação, o álcool neutro é envelhecido por ao menos um ano em barris de carvalho antes de passar pelo processo de diluição, assim conta com uma coloração âmbar e um sabor muito mais marcante do que a vodca, se assemelhando ao *Whisky*. Usualmente, possui uma graduação alcoólica de 32% v/v chegando a 38% v/v onde passar a ser chamado de *Doppelkorn* (BUGLASS, 2013).

Para *Geneva* e *Steinhäger*, devido a presença do zimbro, são considerados da mesma categoria de bebidas que o gim. *Geneva* ou também conhecido como *Holland Gin* foi um precursor do gim como se conhece hoje, e seu processo fermentativo é composto por centeio, malte de cevada, milho e/ou trigo e sua destilação dupla é feita em alambique. Previamente a diluição, o álcool neutro é macerado e/ou redistilado com botânicos diversos, sendo obrigatório a presença do zimbro. O malte faz com que *Geneva* seja uma interseção entre o gim e o *Whisky*, possui graduação alcoólica de 40% v/v e essa bebida é mais comum na Holanda e Bélgica (BUGLASS, 2013).

O *Steinhäger* é uma bebida destilada alemã da região de Vestfália, protegida geograficamente desde 1989, de graduação alcoólica de 35%-54% v/v, onde sua principal característica é a adição de bagas de zimbro ainda no processo de fermentação. Seu processo de produção é mais longo, com uma fermentação de duração de 10 a 14 dias, onde

posteriormente o caldo fermentado é destilado 2 vezes em alambique, resultado em uma bebida rica em congêneres (VARNAM, 1974).

Outra categoria de bebidas retificadas são aquelas saborizadas a partir da anis estrelado (*Illicium verum*), anis-verde (*Pimpinella anisum*) e/ou erva-doce (*Foeniculum vulgare*) como é o caso do *Ouzo*, *Pastis* e *Absinthe*. *Ouzo* é uma bebida natural da Grécia, que conta também com a presença de lentisco (*Pistacia lentiscus*) na saborização do álcool neutro, sua destilação é feita em alambique de cobre e o conteúdo final é dividido em duas categorias, 100% do destilado onde chega a concentrações alcoólicas de 75-80% v/v e outro com 20% do destilado original que é diluído atingindo graduação alcoólica de 44% v/v. Já no caso das bebidas *Patis* e *Absinthe*, bebidas oriundas da França, há a presença de substâncias proveniente de raízes no caso do alcaçuz (*Glycyrrhiza glabra*) para a primeira e losna (*Artemisia absinthium*) para a segunda. Ambas bebidas são semelhantes em seus processos de fabricação, com destilação em alambique e alcançam graduação alcoólica de 45% para *Pastis* e 80-85% v/v para o *Absinthe*. O *Pastis* surgiu como uma substituição ao absinto devido a presença da substância tujona (C₁₀H₁₆O) presente na *A. absinthium* que é alucinógena, e levou à proibição do absinto no século XIX. Além disso, fazem a interseção com os licores, por possuírem adição de açúcar antes do engarrafamento (VRIESEKOOOP, 2018).

Por último as bebidas *Soju* e *Shochu*, originárias da Coreia e do Japão, respectivamente, e possuem como principal componente na fermentação o arroz além de outras fontes de carboidratos como cevada, trigo e batata doce. Essas bebidas agrupam uma grande variedade de bebidas destiladas que possuem diferentes processos de produção, mas se diferenciam principalmente pela destilação em batelada ou contínua. Em linhas gerais, o *Soju* possui graduação alcoólica de 20 a 30% v/v e é adoçado ao final do processo, enquanto o *Shochu* tem graduação alcoólica de 30-50% v/v (BUGLASS, 2013).

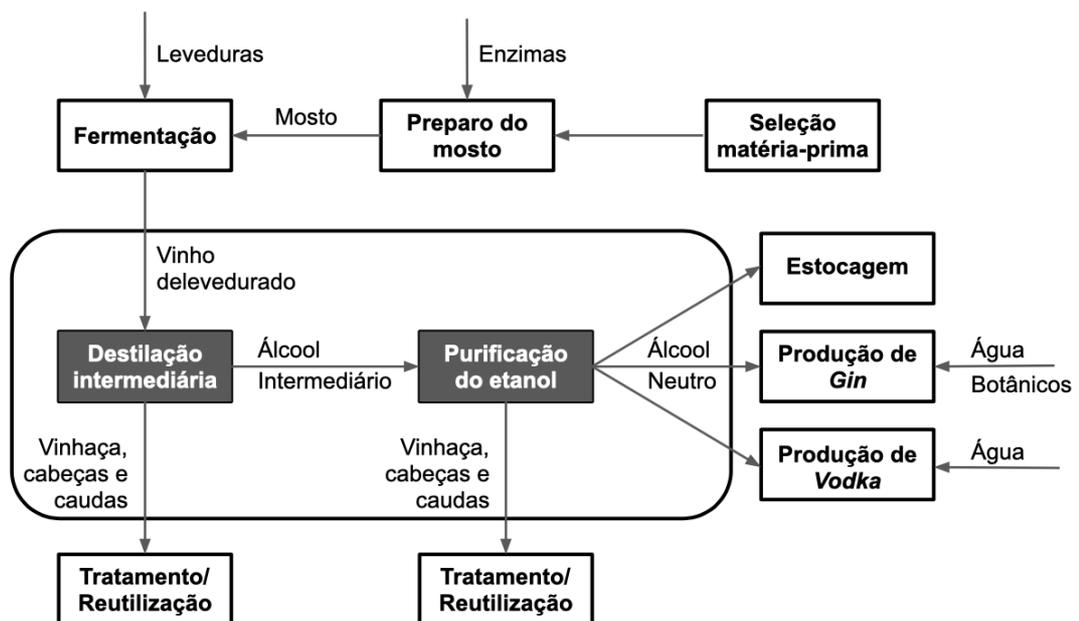
4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. – Justificativas e Definições

Para o estudo da viabilidade produtiva da planta de destilação do álcool neutro, definiu-se as principais variáveis a serem avaliadas e as informações que serão inerentes ao processo. Assim, quanto ao processo produtivo da produção das bebidas retificadas, as etapas de destilação e purificação do álcool neutro foram simuladas e por meio desses resultados foram calculados o pré-dimensionamento dos equipamentos e a análise econômica preliminar.

O limite de bateria, que representa o contorno do escopo do projeto, está indicado pela Figura 4.1. No qual, para a simulação da destilação, essas duas etapas contaram com o dimensionamento de 5 colunas ao todo, necessárias para se obter o nível de pureza do álcool neutro conforme descrito na seção 3.5. Além disso, trocadores de calor e bombas necessários para se atingir as especificações de processo também foram dimensionados. Não coube ao projeto abordar o tratamento ou finalidade dos efluentes, como a vinhaça e os componentes de cabeça e cauda.

Figura 4.1.: Limite de Bateria.



Fonte: Elaboração Própria.

Para a produção do álcool neutro, baseou-se nos dados presentes nos trabalhos de DECLoux (2005) e BATISTA (2013) e nas informações de mercado descritas na seção 2.3 deste trabalho. A composição do vinho adotado foi definida a partir de valores intermediários das concentrações dos principais congêneres, dessa forma o processo de fermentação dos cereais para a produção do mosto delevedurado não foi simulada. Assim, a vazão de vinho a ser destilada foi de 50.000 kg/h, onde sua composição está descrita na Tabela 4.1. Além disso, na vazão de alimentação foi definida a temperatura de 30°C e pressão de 1,013 bar, sendo essas, as condições esperadas a após o processo fermentativo do vinho.

Tabela 4.1.: Composição do vinho a ser destilado.

Substância	Fórmula Química	Fração Mássica		
		BATISTA	DECLoux	Simulação
Água	H ₂ O	0,9319	0,9190	0,9250
Etanol	C ₂ H ₆ O	0,06627	0,08023	0,07300
Metanol	CH ₄ O	1,212 10 ⁻⁵	4,058 10 ⁻⁵	5,000 10 ⁻⁵
Propanol	C ₃ H ₈ O	5,300 10 ⁻⁵	1,015 10 ⁻⁴	5,000 10 ⁻⁵
Isobutanol	C ₄ H ₁₀ O	4,695 10 ⁻⁵	1,017 10 ⁻⁴	9,000 10 ⁻⁴
Álcool Isoamílico	C ₅ H ₁₂ O	1,845 10 ⁻⁴	2,466 10 ⁻⁴	9,000 10 ⁻⁴
Acetato de Etila	C ₄ H ₈ O ₂	1,976 10 ⁻⁵	1,209 10 ⁻⁵	5,000 10 ⁻⁵
Acetaldeído	C ₂ H ₄ O	1,740 10 ⁻⁵	4,882 10 ⁻⁵	5,000 10 ⁻⁵

Fonte: BATISTA, 2013; DECLoux, 2005.

4.2. – Materiais

Para a simulação foi utilizado o *software* ASPEN PLUS ® V.8.8. O modelo termodinâmico empregado foi NRTL-HOC, do inglês, *Non Random Two Liquid - Hayden-O'Connell*, conforme sugerido nos trabalhos DECLoux (2005) e BATISTA (2013) que representa melhor o comportamentos dos dados.

Para o pré-dimensionamento dos equipamentos, utilizou-se os resultados dos equipamentos fornecidos pelo simulador. Para as colunas de destilação, a altura e o diâmetro foram obtidos na seção de *Sizing and Rating*. Para as bombas centrífugas, utilizou-se a potência de descarga e para os trocadores de calor, a carga de aquecimento (*Heat Duty*) e a área de troca térmica. Com essas informações, a precificação ocorreu por meio da planilha CAPCOST disponibilizada como anexo de TURTON (2017) que fornece valores, aproximados, para diversos equipamentos industriais de acordo com seu dimensionamento.

de perda e concentração de etanol, variando a vazão de água e também o calor do *reboiler* na coluna EA, se encontram na Tabela 4.2.

Tabela 4.2.: Análise de sensibilidade para determinar a vazão água na coluna EA

Vazão de Água em 12 (kg/h)	Calor do Reboiler em EA (cal/s)	Vazão de etanol em 14 (kg/h)	Concentração de etanol em 15 (% m/m)	Vazão de propanol em 15 (kg/h)	Vazão de isobutanol em 15 (kg/h)
20.000	0,8 10 ⁶	52	14,8	0,40	0,80
25.000	1,0 10 ⁶	51	12,4	0,37	0,78
30.000	1,2 10 ⁶	49	11,1	0,34	0,71
35.000	1,4 10 ⁶	48	9,5	0,31	0,69
40.000	1,6 10 ⁶	47	8,6	0,25	0,61
45.000	1,8 10 ⁶	45	7,1	0,24	0,54
50.000	1,9 10 ⁶	33	6,0	0,21	0,50

Fonte: Elaboração Própria.

Notou-se que com o aumento da vazão de água, diminuiu-se a quantidade de propanol e isobutanol na corrente alcoólica, mas ao mesmo tempo mais energia foi utilizada e menor se tornou a concentração de etanol na corrente de fundo. Para simulações futuras, poderá ser estudado a utilização do reciclo da corrente de fundo da coluna RT, que, conforme indicado no fluxograma, é composta basicamente de água e é empregada no processo de limpeza e remoção de congêneros da coluna EA de acordo com a literatura pesquisada.

Quanto, aos equipamentos utilizados, os dados inseridos para a simulação estão representados nas Tabelas 4.3-4.9.

Tabela 4.3.: Dados das bombas centrífugas.

Bombas centrífugas	B1	B2	B3	B4
Modelo	Pump	Pump	Pump	Pump
Pressão de descarga (bar)	1,059	1,077	1,095	1,091

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 4.4.: Dados dos trocadores de calor.

Trocadores	TC1	TC2	TC3	TC4
Modelo	<i>Heater</i>	<i>Heater</i>	<i>Heater</i>	<i>Heater</i>
Temperatura de saída corrente fria (°C)	92	90	90	90
Fração de Vapor	0	0	0	0
Fases válidas	Líquido-vapor	Líquido-vapor	Líquido-vapor	Líquido-vapor

Fonte: Elaboração Própria.**Tabela 4.5.: Dados da coluna WS.**

Configuração	WS
Tipo de cálculo	<i>Equilibrium</i>
Número de pratos	40
Condensador	Total
Refrvedor	<i>Kettle</i>
Fases válidas	Líquido-vapor
Convergência	<i>Standard</i>
Razão de Refluxo molar	1,9
Carga do Refervedor	1,12 10 ⁶ cal/s
Prato corrente de alimentação	10 (no estágio)
Prato corrente do destilado	1 (fase líquida)
Prato corrente de fundo	40 (fase líquida)
Pressão no condensador	1,013 bar
Queda de pressão	0,2 bar

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 4.6.: Dados da coluna CC

Configuração	CC
Tipo de cálculo	<i>Equilibrium</i>
Número de pratos	60
Condensador	Total
Refervedor	<i>Kettle</i>
Fases válidas	Líquido-vapor
Convergência	<i>Standard</i>
Razão de Refluxo molar	1
Carga do Refervedor	$5,09 \cdot 10^5$ cal/s
Prato corrente de alimentação	20 (no estágio)
Prato corrente do destilado	1 (fase líquida)
Prato corrente de fundo	60 (fase líquida)
Pressão no condensador	1,013 bar
Queda de pressão	0,2 bar

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 4.7.: Dados da coluna EA

Configuração	EA
Tipo de cálculo	<i>Equilibrium</i>
Número de pratos	50
Condensador	Total
Refervedor	<i>Kettle</i>
Fases válidas	Líquido-vapor
Convergência	<i>Standard</i>
Vazão mássica de destilado	3000 kg/h
Carga do Refervedor	$5,0 \cdot 10^5$ cal/s
Prato corrente de alimentação	20 (no estágio)
Prato corrente de alimentação	1 (no estágio)
Prato corrente do destilado	1 (fase líquida)
Prato corrente de fundo	60 (fase líquida)
Pressão no condensador	1,013 bar
Queda de pressão	0,2 bar

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 4.8.: Dados da coluna RT

Configuração	RT
Tipo de cálculo	<i>Equilibrium</i>
Número de pratos	80
Condensador	Total
Refervedor	<i>Kettle</i>
Fases válidas	Líquido-vapor
Convergência	<i>Standard</i>
Razão de Refluxo molar	2
Carga do Refervedor	$8,0 \cdot 10^5$ cal/s
Prato corrente de alimentação	60 (no estágio)
Prato corrente do destilado	1 (fase líquida)
Prato corrente de fundo	80 (fase líquida)
Pressão no condensador	1,013 bar
Queda de pressão	0,2 bar

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 4.9.: Dados da coluna DM.

Configuração	DM
Tipo de cálculo	<i>Equilibrium</i>
Número de pratos	50
Condensador	Total
Refervedor	<i>Kettle</i>
Fases válidas	Líquido-vapor
Convergência	<i>Standard</i>
Vazão mássica de destilado	2 kg/h
Carga do Refervedor	$1,4 \cdot 10^6$ cal/s
Prato corrente de alimentação	20 (no estágio)
Prato corrente do destilado	1 (fase líquida)
Prato corrente de fundo	50 (fase líquida)
Pressão no condensador	1,013 bar
Queda de pressão da coluna	0,2 bar

Fonte: Elaboração Própria

5 – RESULTADOS

5.1. - Descrição do Fluxograma

Após a definição da capacidade de produção e do limite de bateria, o processo foi simulado no *software* ASPEN PLUS®, e a partir dos resultados obtidos nas correntes e nos equipamentos, elaborou-se o fluxograma de processo. O fluxograma geral está representado na Figura 5.1.

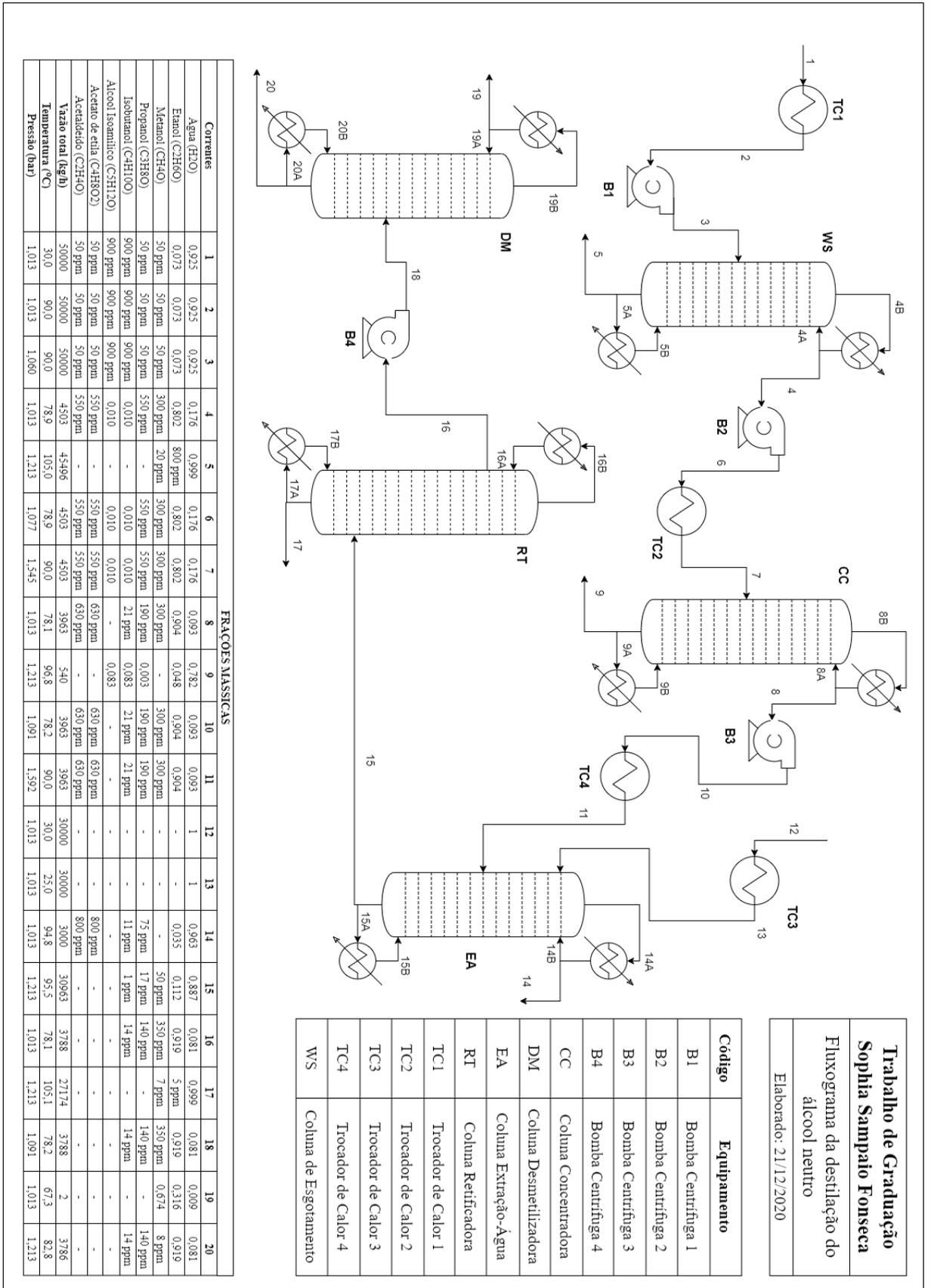
A corrente 1 é composta pelo vinho a ser destilado, e sua composição está descrita na Tabela 4.1., está a 30 °C e 1,013 bar. Ela é aquecida no trocador de calor TC1 a 90°C, e, em seguida, a corrente 2 é comprimida à pressão de alimentação na coluna WS pela bomba B1 a 1,059 bar.

A coluna WS, conta com 40 pratos, onde o topo está a 1,013 bar e o fundo a 1,213 bar (variação de pressão de 0,2 bar). A corrente 3 é alimentado no prato 10 (sendo o destilado o 1°). No destilado, a concentração de etanol é de 80,2% em massa e a corrente está a 79,2 °C. A corrente 5, composta com 99,9% m/m em água está a 105 °C e 1,213 bar. A corrente 4 passa, então, pela bomba B2, atingindo uma pressão de 1,077 (corrente 6) e logo em seguida sendo a aquecida a 90 °C pelo TC2, tornando-se a corrente 7.

A coluna CC possui 60 pratos, sendo o destilado a 1,013 bar e o fundo a 1,213, a alimentação ocorre do prato 10. A corrente 8, possui uma concentração de etanol de 90,4% m/m e representa o produto intermediário do álcool neutro, e está a 78,1 °C e 1,013 bar. A corrente 9, que tem 78,2% em água e cerca de 17% em óleo fúsel, está a 96,8 °C e 1,213 bar.

Em seguida, o destilado (8) é pressurizado a 1,095 bar pela bomba centrífuga B3 e a corrente 10 é aquecida a 90 °C pelo TC4, tornando-se a corrente 11 que será alimentada na coluna EA. A corrente 12 é composta por água, e será empregada na coluna EA para remoção de congêneres hidrofílicos, está a 25 °C e 1,013 bar. Ela é aquecida pelo TC3 a 90°C tornando-se a corrente 13.

Figura 5.1.: Fluxograma da destilação do álcool neutro.



Trabalho de Graduação
 Sophia Sampaio Fonseca
 Fluxograma da destilação do
 álcool neutro
 Elaborado: 21/12/2020

Código	Equipamento
B1	Bomba Centrífuga 1
B2	Bomba Centrífuga 2
B3	Bomba Centrífuga 3
B4	Bomba Centrífuga 4
CC	Coluna Concentradora
DM	Coluna Desmetilizadora
EA	Coluna Extração-Água
RT	Coluna Retificadora
TC1	Trocador de Calor 1
TC2	Trocador de Calor 2
TC3	Trocador de Calor 3
TC4	Trocador de Calor 4
WS	Coluna de Esgotamento

Fonte: Elaboração Própria.

A coluna EA conta com 50 pratos, sendo o destilado a 1,013 bar e o fundo a 1,213 bar. A corrente 11 é alimentada no prato 20 e a corrente 13 no prato 1. A corrente de interesse é a 15, que conta com 11,2% em etanol, está a 95,5 °C e 1,213 bar. Já a corrente 14, do destilado, possui 96,3% em água e 800 ppm de acetato de etila e acetaldeído, está a 94,8 °C e 1,013 bar. A corrente de fundo, 15, é então alimentada na coluna RT no estágio de número 60.

A coluna RT, possui 80 pratos, sendo seu topo a 1,013 bar e o fundo a 1,213 bar. O etanol presente na corrente 15 é então destilado, atingindo 91,9% em massa na corrente 16 (que tem como especificação 1,013 bar e 78,1 °C), e segue para ser pressurizado pela bomba B4 até 1,091 bar, tornando-se a corrente 18. A corrente de fundo, 17, é composta por 99,9% em água, está a 105 °C e 1,213 bar.

Na coluna DM, com 50 pratos, a alimentação ocorre no estágio 20. A pressão de topo é de 1,013 e de fundo de 1,213 bar. No destilado (19), é extraído o metanol, e corrente possui uma concentração de 31,6% desse congêneres. Ao fundo, na corrente 20, é obtido o álcool neutro, com concentração alcoólica de 91,9% m/m, a 82,8 °C e com pressão de 1,213 bar. Sua composição detalhada está descrita na Tabela 5.1.

Tabela 5.1.: Composição do álcool neutro simulado.

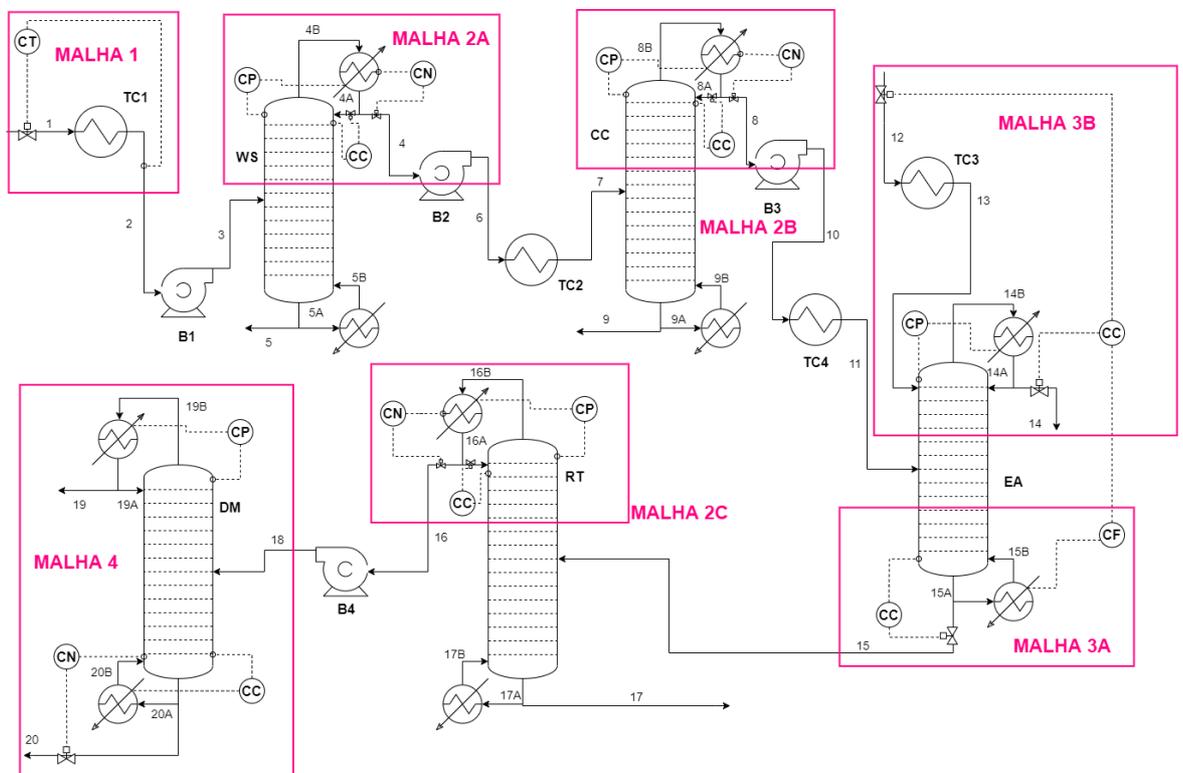
Substância	Composição em massa
Água	0,081
Etanol	0,919
Metanol	8 ppm
Propanol	140 ppm
Isobutanol	14 ppm
Álcool Isoamílico	-
Acetato de Etila	-
Acetaldeído	-
Vazão (kg/h)	3786,4

Fonte: Elaboração Própria.

5.2 - Estratégia de Controle de Processos

Para realização do controle do processo, analisou-se os pontos nos quais são necessários manter um valor de concentração, vazão, pressão ou temperatura, a fim de manter a qualidade do processo e do produto final. Neste caso, quanto à qualidade, a coluna EA de extração com água, coluna DM, desmetilizadora, são as mais determinantes para a purificação do álcool neutro. As malhas de controle estão explicitadas na Figura 5.2.

Figura 5.2.: Malhas de controle de processo.



Fonte: Elaboração Própria.

Primeiramente, definiu-se a utilização de uma válvula de controle de vazão nas correntes que alimentam o sistema, na corrente 1, para que seja possível o controle operacional da capacidade de produção através da entrada de vinho a ser alimentado. Já na corrente 12, o controle de vazão estará atrelado a malha 3B da coluna EA, pois a vazão de água é notória para a remoção de congêneres. No trocador TC1, a malha 1 de temperatura é utilizada variando a vazão de vinho que é alimentada no sistema. Assim, para variações na alimentação, haverá a manutenção da temperatura de processo, em cerca de 90 °C.

Para as colunas WS, CC e RT, a corrente de interesse é o destilado, sendo necessário uma malha 2A-C de controle que garanta a concentração de etanol nas correntes 4, 8 e 16, respectivamente. Nesse caso, o controle da concentração será realizado pelo controle da vazão de refluxo, indicado pelas correntes 4A, 8A e 16A, enquanto a vazão de destilado será empregada para controlar o nível no condensador. Além do controle da qualidade do produto, o controle de inventário é importante para a estabilização do processo, para o controle da pressão, que também ocorre no topo da coluna, é realizada a manipulação de fluido refrigerante no condensador. Para diminuição na pressão, há o decaimento da vazão do fluido que resulta em menor taxa de condensação de vapor que por último retoma o um aumento na pressão.

Na coluna EA, o controle ocorre nas correntes de fundo e no destilado, números 15 e 14. Para a malha 3A do produto de fundo, a concentração de etanol na saída é a principal substância a ser analisada, na qual, seu valor não deve ser menor que 10% em massa, enquanto que na corrente de topo, as concentrações de óleo fúsel devem ser maximizadas. Além disso, nessa coluna, há a alimentação de água, corrente 13, que simultaneamente é responsável por diluir o etanol e remover mais congêneres quando tem sua vazão expandida, sendo seu controle importante para obtenção dos resultados desejados. O controle da concentração de topo, malha 3B, é realizado pela corrente de destilado enquanto o refluxo é a variável de controle do nível do condensador. Quando houver a diminuição da concentração de congêneres em 14, o aumento da vazão de água se faz necessário e por consequência o calor do *reboiler* para que seja mantido as especificações de etanol na corrente de fundo, ocorrendo assim um controle em cascata. O controle em ambas as correntes deve ser bem administrado, visto a grande interação que ocorre entre elas, e sendo isso possível, espera-se a diminuição no consumo de utilidades e aumento da qualidade do produto.

Por fim, na coluna DM, é obtido o álcool neutro pela corrente de fundo. Nesse caso a corrente 20 será empregada para controlar o nível do refulvedor, já para o controle da concentração será feito pelo calor fornecido a coluna, malha 4. Assim, ao aumentar a vazão de vapor, aumenta-se a vazão de retorno de mistura para a coluna que passa novamente pelo processo de separação, tornando-se mais pura.

5.3. - Pré-Dimensionamento dos Equipamentos

As dimensões características dos equipamentos necessários para o processo foram obtidas através das simulações realizadas no software ASPEN PLUS®. Para a precificação, os valores aproximados fornecidos pela planilha CAPCOST foram corrigidos para valores atuais por meio do site *Inflation Calculator* e os valores em dólar foram convertidos para real, utilizando-se da média do valor comercial do dólar em 2017. As informações estão descritas nas Tabelas 5.2-5.4.

Tabela 5.2.: Dimensões e custos das bombas centrífugas B1-B4 em aço inox.

Bomba	B1	B2	B3	B4
Potência (kW)	1,2	1,1	1,1	1,0
Pressão de descarga (bar)	1,059	1,077	1,095	1,091
Preço CAPCOST (US\$)	11.246	11.246	11.246	11.246
Preço atualizado (R\$)	39.198	39.198	39.198	39.198

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5.3.: Dimensões e custos dos trocadores de calor múltiplo tubo TC1-TC4 em aço inox.

Trocadores de Calor	TC1	TC2	TC3	TC4
Área de Troca (m²)	52,4	1,1	37,8	1
Carga de aquecimento (kW)	3461	45	2054	41
Preço CAPCOST (US\$)	105.063	13.197	75.127	13.197
Preço atualizado (R\$)	366.195	45.997	261.853	45.997

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5.4.: Dimensões e custos das colunas de destilação com pratos perfurados em aço inox.

Colunas de Destilação	WS	CC	EA	RT	DM
Número de Pratos	40	60	50	80	50
Altura (m)	18,2	27,3	22,7	32,4	22,7
Diâmetro (m)	1,32	1,01	0,93	1,20	1,70
Pressão máxima (bar)	1,213	1,213	1,213	1,213	1,213
Preço CAPCOST (US\$)	248.252	388.634	237.968	504.931	363.030
Preço atualizado (R\$)	865.278	1.354.577	829.433	1.759.928	1.265.335

Fonte: Elaboração própria.

5.4. - Análise Econômica Preliminar

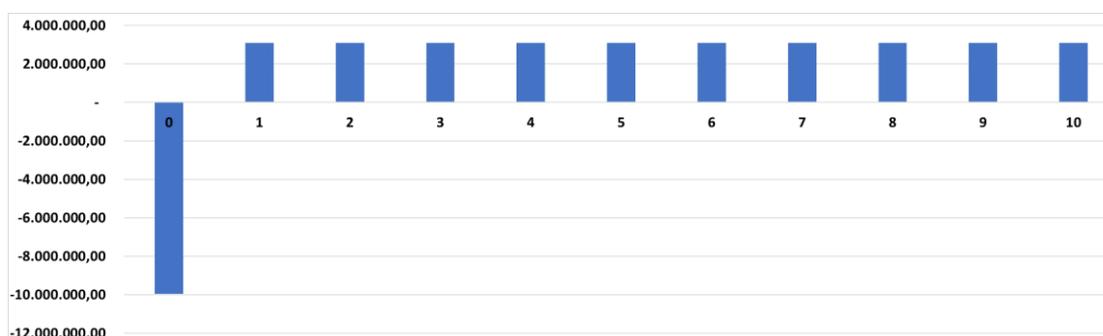
A partir dos valores dos equipamentos dimensionados do projeto, realizou-se o estudo sobre a sua viabilidade econômica preliminar. Desta maneira, dados de custo de energia e água, gastos com quadro funcional e tratamento de efluentes foram contabilizados em cima dos ganhos esperados com a venda do álcool neutro. Assim, de acordo com a capacidade produtiva estipulada, e os dados de mercado quanto aos preços de venda do álcool neutro estimou-se uma entrada de R\$ 2.000.000,00 ao mês, e uma margem de lucro de cerca de 13% em cima deste valor, assim foi elaborado um fluxo de caixa para indicar as previsões de investimento. Considerou-se o trabalho de produção durante 24 horas por dia, 30 dias por mês. Os dados utilizados podem ser vistos na Tabela 5.5 e na Figura 5.3.

Tabela 5.5.: Relação de entradas e saídas do fluxo de caixa.

	Ano	Entradas	Saídas	Total (lucro tributável)
	0		R\$-10.000.000,00	R\$-10.000.000,00
2020	1	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2021	2	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2022	3	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2023	4	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2024	5	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2025	6	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2026	7	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2027	8	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2028	9	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00
2029	10	R\$24.000.000,00	R\$-20.880.000,00	R\$3.120.000,00

Fonte: Elaboração Própria.

Figura 5.3.: Fluxo de caixa ao longo de 10 anos.



Fonte: Elaboração Própria.

Para a análise de *Payback*, contabiliza-se em quanto tempo haverá o retorno do investimento inicial, ou seja, em quanto tempo o investimento se paga. Pelo fluxo de caixa, com um investimento inicial de aproximadamente 10 milhões de reais e com posterior balanço de aproximadamente 3,1 milhões positivos nos anos seguintes, a análise de *Payback* trouxe um tempo de retorno de 4 anos.

Para a análise do Valor Presente Líquido (VPL), método mais completo e que considera a variação do valor do dinheiro com o decorrer do tempo, foi necessário definir um valor de Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A TMA é uma taxa que representa o mínimo que um investidor propõe ganhar quando faz o investimento, de modo que este valor pode ser definido considerando-se outras taxas do mercado como poupança, taxa Selic e outros tipos de investimentos de baixo risco. Assim, para esta análise definiu-se uma TMA de 9%. Calculando-se o VPL, obteve-se um valor de aproximadamente 10 milhões em horizonte de 10 anos.

Por fim, calculou-se a Taxa Interna de Retorno (TIR), taxa hipotética que faz com que os valores das despesas, trazidas ao valor presente, seja igual aos valores dos retornos dos investimentos, ou seja, é a taxa para que o VPL seja igual a zero. E, obteve-se um valor de 22% para o mesmo período.

6 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Neste trabalho, realizou-se um estudo quanto a produção do álcool etílico potável de origem agrícola para a produção de bebidas retificadas. Por meio de simulações no *software* ASPEN PLUS®, foi-se obtido uma corrente final de álcool neutro alcançou com pureza de 91,9% mássico (aproximadamente 94% volumétrico), e as concentrações dos congêneres obtidas na proporção de parte por milhão (ppm) indicam alto nível de pureza, estando de acordo com a legislação brasileira. A análise econômica se mostrou favorável, ainda que em análise preliminar, o VPL calculado apresentou um valor positivo, indicando que o investimento gerará retorno financeiro ao investidos. O mesmo pode ser visto com a análise TIR, que apresentou um valor superior a TMA, indicando a atratividade deste investimento. Ao se observar o mercado de bebidas alcoólicas, nota-se uma estabilidade ao longo das últimas décadas, e que tem na inovação a oportunidade de diferenciação de uma bebida em relação as outras que estão no mercado.

Para trabalhos futuros, o refino da simulação se faz necessário, principalmente pensando em reciclo de correntes, como o caso da corrente de fundo da coluna RT como a água de extração na coluna EA, bem como o reaproveitamento energético das correntes de fundo das colunas para o aquecimento da alimentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, A. R. Vodka e Gin. In: VENTURINI FILHO, W. G (Coord.). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 521-529.

ALCOHOL.ORG. The alcohol Industry in Data. Disponível em: <<https://www.alcohol.org/guides/the-alcohol-industry-in-data/>>. Acesso em: out. 2020.

AYLOTT, R. I. *Flavoured Beverages*. In: LEA, A. G. H.; PIGOTT, J. R (Eds.). **Fermented Beverage Production**. 2 ed. New York: Springer, 2003. Cap. 13.

BATISTA, F. R. M.; FOLLEGATTI-ROMERO, L. A.; MEIRELLES, A. J. A. *A new distillation plant for neutral alcohol production*. Separation and Purification, Campinas, v. 118, p. 784-793, aug., 2013.

BORTOLETTO, A. **Premiunização de Bebidas Brasileiras**. Disponível em: <<https://www.inovbev.com/post/premiunização-de-bebidas-brasileiras-1>>. Acesso em: out. 2020.

BRASIL, Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária - MAARA, **LEI Nº 8.918 DE 14 DE JULHO DE 1994**, D.O. DE 15/07/1994, P. 10661. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18918.htm>. Acesso em dez. 2020.

BRASIL, Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Consolidação das Normas de Bebidas, Fermentado Acético, Vinho e Derivados da Uva e do Vinho. ANEXO À NORMA INTERNA DIPOV Nº 01/2019**. 12 ed. Nov., 2020. 1017 p.

BRASIL, Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, **DECRETO Nº 6.871 DE 04 DE JUNHO DE 2009**, D.O.U. 05/06/2009, P. 20. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm>. Acesso em dez. 2020.

BUGLASS, A. J.; MCKAY, M.; LEE, C. G (Eds.). *Handbook of Alcoholic Beverages: Technical, Analytical and Nutritional Aspects*. New Delhi: Willey, 2011. Cap. 3.

CERVIERI JÚNIOR, O. et al. **O setor de bebidas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 40, p. 93-130, set., 2014.

DECLoux, M.; COUSTEL, J. *Simulation of a neutral spirit production plant using beer distillation*. International Sugar Journal, Massy, v. 107, n. 1283, p. 628–643, nov., 2005.

DIAGEO BAR ACADEMY. **Por dentro da bebida: botânicos e o mundo do gin**. Disponível em: <https://www.diageobaracademy.com/pt_BR/news/newsletter/por_dentro_da_bebida_botanicos_e_o_mundo_do_gin/>. Acesso em: out. 2020.

DIAS, D. R. et al. Fermentados de Frutas. In: VENTURINI FILHO, W. G (Coord.). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2019. p.137-163.

DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de produção de etanol a partir do açúcar e do bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço**. Campinas: [s.n.], 2008.

DIFFORD, S. **Gin botanicals**. Disponível em: <<https://www.diffordsguide.com/pt-br/g/1108/gin/gin-botanicals>>. Acesso em: out. 2020.

DIFFORD, S. **Previsões e tendências para 2020 e além**. Disponível em: <<https://www.diffordsguide.com/pt-br/encyclopedia/1607/cocktails/drink-trends-predicted>>. Acesso em: out. 2020.

DRAGONE, G.; OLIVEIRA E SILVA, T. A.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G (Coord.). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 51-84.

DRAGONE, G. et al. Uísque. In: VENTURINI FILHO, W. G (Coord.). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 490-517.

IWSR. *Gin and Japanese Whisky Post Double Digit Percent Growth in Global Travel Retail*. Disponível em: <<https://www.theiwsr.com/wp-content/uploads/Press-Release-IWSR-Spirits-in-Global-Travel-Retail.pdf>>. Acesso em: out. 2020.

KPMG. **Estudo do Setor de Bebidas Alcoólicas**. [s.l.], 2019, 14 p.

LACHENMEIER, D. W. et al. *The use of ion chromatography to detect adulteration of vodka and rum*. European Food Research Technology, [s.l.], n. 218, p. 105-110. oct., 2003.

LACHENMEIER, D. W.; SHMIDT, B.; BRETSCHNEIDER, T. *Rapid and mobile brand authentication of vodka using conductivity measurement*. Microchim Acta, The Netherlands, n. 160, p. 283-289, 2008.

LEAKE, C. D.; SILVERMAN, M. The Chemistry of Alcoholic Beverages. In: KISSIN, B. (Ed.). *The Biology of Alcoholism*. New York: Springer, 1971. p. 575-612.

LIMA, U. A. Licores. In: VENTURINI FILHO, W. G (Coord.). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 533-557.

MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. Aguardente de Cana. In: VENTURINI FILHO, W. G (Coord.). **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2019. p. 307-347.

OLIVER, W. R.; KEMPTON, R. J.; CONNER, H. A. *The Production of Ethanol from Grain*. Journal of Chemical Education, Ogden, v. 59, n. 1, jan., 1982.

PARAZZI, C. et al. **Avaliação e caracterização dos principais compostos químicos da aguardente de cana-de-açúcar envelhecida em tonéis de carvalho (*Quercus* sp.)**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, n. 28, p. 193-199, jan.-mar., 2008.

PAULEY, M.; MASKELL, D. *Mini-Review: The Role of *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Gin and Vodka*. Beverages, Edinburgh, v. 3, n. 13, feb., 2017.

PIGGOT, R. *From pot stills to continuous stills: flavor modification by distillation*. In: JACQUES, K. A.; LYONS, T. P.; KELSALL, D. R. *The Alcohol Textbook: A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries*. 4 ed. Nottingham: Nottingham University Press, 2003, Cap. 17.

RIBEIRO, A. D. (Ed.). **Um Brinde à Vida: A História das Bebidas**. São Paulo: DBA Editora, 2014.

RUSSELL, I. *Understanding yeast fundamentals*. In: JACQUES, K. A.; LYONS, T. P.; KELSALL, D. R. *The Alcohol Textbook: A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries*. 4 ed. Nottingham: Nottingham University Press, 2003, Cap. 9.

RUSSELL, I.; STEWART, G (Eds.). *Whisky: Technology, Production and Marketing*. 2 ed. Oxford: Academic Press, 2014. Cap. 7.

SALADO, A. **Consumo de Gim Aumenta 66% no Brasil em 2017**. Disponível em: <<https://blog.euromonitor.com/consumo-de-gim-aumenta-66-no-brasil-em-2017/>>. Acesso em: out. 2020.

SEADER, J. D.; SIIROLA, J. J.; BARNICKI, S. D. *Distillation*. In: PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. (Eds). **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 7 ed. New York: McGraw, 1997. Cap. 13.

SMITH, J. M.; VAN NESS; H. C.; ABBOTT, M. M. (Eds.). **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. Cap. 10.

THE ECONOMIST. *Highest Consumption of Selected Spirits*. Disponível em: <<https://economist.com/graphicdetail>>. Acesso em: out. 2020.

TURTON, R. A. **CAPCOST 2017**. Disponível em: <<https://richardturton.faculty.wvu.edu/publications/analysis-synthesis-and-design-of-chemical-processes-5th-edition>>. Acesso em: out. 2020.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P (Eds.). *Beverages: Technology, chemistry and microbiology*. Salisbury: Springer, 1974. Cap. 9.

VRIESEKOOOP, F.; OSTROWSKI, D. *Distillation Processes and Distillates*. In: BORDIGA, M. (Ed.). *Post-Fermentation and -Distillation Technology Stabilization, Aging, and Spoilage*. Boca Ratón: CRC Press, 2018. Cap. 2.