

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**HENRIQUE CAMPOS DOS SANTOS**

**ESTUDO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL PARA A PRODUÇÃO DE  
KOMBUCHA**

**POÇOS DE CALDAS/MG**

**2025**

**HENRIQUE CAMPOS DOS SANTOS**

**ESTUDO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL PARA A PRODUÇÃO DE  
KOMBUCHA**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, pela Universidade Federal de Alfenas.  
Orientadora: Dra. Carolina Del Roveri.

**POÇOS DE CALDAS/MG**

**2025**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Campus Poços de Caldas

Santos, Henrique Campos dos.

Estudo de um Processo Industrial para a Produção de Kombucha /  
Henrique Campos dos Santos. - Poços de Caldas, MG, 2025.  
43 f. : il. -

Orientador(a): Carolina Del Roveri.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) -  
Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2025.  
Bibliografia.

1. Balanço. 2. Descritivo. 3. Fluxograma. 4. Gantt. I. Roveri, Carolina  
Del, orient. II. Título.


## HENRIQUE CAMPOS DOS SANTOS

### ESTUDO DE UM PROCESSO INDUSTRIAL PARA PRODUÇÃO DE KOMBUCHA


A Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Projeto de Conclusão de Curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 04 de dezembro de 2025


Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carolina Del Roveri  
UNIFAL-MG

Documento assinado digitalmente  
 CAROLINA DEL ROVERI  
Data: 11/12/2025 15:18:45-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leandro Lodi  
UNIFAL-MG

Documento assinado digitalmente  
 LEANDRO LODI  
Data: 11/12/2025 15:27:54-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Grazielle Santos Silva Andrade  
UNIFAL-MG

Assinatura:  
Documento assinado digitalmente  
 GRAZIELLE SANTOS SILVA ANDRADE  
Data: 11/12/2025 15:31:12-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## RESUMO

Este trabalho visou estudar a produção de 14.000 litros mensais de kombucha em escala industrial utilizando-se tanques de 5.000 litros. Calculou-se para cada lote, através de um balanço de massa que o tanque de fervura deve ser alimentado com 2.227,50 quilos de água e 22,50 quilos de erva compondo 99% e 1% do sistema, respectivamente, totalizando 2.250,00 quilos do peso total. O tanque de adoçagem deve ser alimentado com 2.227,50 quilos de chá filtrado e 227,25 quilos de açúcar, compondo 90,74% e 9,26% do sistema, totalizando 2454,75 quilos do peso total. O tanque de fermentação deve ser alimentado com 4.704,75 quilos de chá adoçado, 376,38 quilos de arranque e 94,10 quilos de filme de celulose, compondo 90,91%, 7,27% e 1,82% do sistema, respectivamente, totalizando 5175,23 quilos do peso total. Determinou-se que a produção de cada lote deve ser de 14.114,35 litros. Calculou-se por intermédio de um balanço de energia que o trocador à placas do sistema deve ter placas suficientes para garantir 21,81 metros quadrados de área de transferência de calor. A fermentação deve levar em média 7 dias, sendo este o gargalo do processo e com isto, observou-se, com o auxílio de um Diagrama de Gantt, que a partir de 3 lotes por mês, deve ser possível a entrega de 470,48 litros de kombucha ou 940 garrafas envasadas por dia. Foi possível construir um descritivo do processo e em seguida, diagramar um fluxograma de processo.

Palavras-chave: balanço; descritivo, fluxograma; Gantt.

## ABSTRACT

This study aimed to study the production capacity for 14,000 liters of kombucha per month on an industrial scale using 5,000-liter tanks. For each batch, a mass balance was used to calculate that the boiling tank should be fed with 2,227.50 kg of water and 22.50 kg of yerba mate, comprising 99% and 1% of the system, respectively, totaling 2,250.00 kg of the total weight. The sweetening tank should be fed with 2,227.50 kg of filtered tea and 227.25 kg of sugar, comprising 90.74% and 9.26% of the system, totaling 2,454.75 kg of the total weight. The fermentation tank should be fed with 4,704.75 kilograms of sweetened tea, 376.38 kilograms of starter, and 94.10 kilograms of cellulose film, comprising 90.91%, 7.27%, and 1.82% of the system, respectively, totaling 5175.23 kilograms of the total weight. It was determined that the production of each batch should be 14,114.35 liters. An energy balance calculated that the system's plate heat exchanger should have enough plates to guarantee 21.81 square meters of heat transfer area. Fermentation should take an average of 7 days, this being the bottleneck of the process. Using a Gantt chart, it was observed that with 3 batches per month, it should be possible to deliver 470.48 liters of kombucha or 940 bottled bottles per day. It was possible to construct a process description and then diagram a process flowchart.

Keywords: balance; description; flowchart; Gantt.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Número de empresas registradas na Kombucha Brewers International em 2019.....	12
Figura 2-	Disco de celulose e líquido starter ao fundo, ambos contendo SCOBY	17
Figura 3-	Espécies de levedura e bactérias envolvidas no processo, assim como possíveis substratos que possibilitam as mesmas fermentações.....	18
Figura 4-	Sacarose tem sua molécula quebrada e forma dois produtos, glicose e frutose.....	19
Figura 5-	Processo da Glicólise.....	19
Figura 6-	Esquema da conversão de piruvato formado pela glicólise em etanol...	20
Figura 7-	Processo de transformação da glicose em ácido glicônico.....	21
Figura 8-	Molécula de ácido glicurônico.....	22
Figura 9-	Correlação entre a quebra das moléculas de sacarose pela enzima invertase com a quebra das moléculas de frutose pela enzima zimase (fermentação alcoólica).....	22
Figura 10-	Etanol e gás oxigênio gerando ácido acético e água.....	23
Figura 11-	Reações que ocorrem no sistema.....	24
Figura 12-	Diagrama lúdico das propriedades que cada composto químico oferece à Kombucha.....	25
Figura 13-	Propriedades termodinâmicas da água saturada.....	30
Figura 14-	Descritivo do processo de produção industrial da kombucha.....	31
Figura 15-	Fluxograma de um processo fabril da produção de kombucha industrial	32
Figura 16-	Diagrama de Gantt para uma produção mensal.....	32

## LISTA DE SIGLAS

SCOBY

Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>9</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
3.1 OBJETIVO GERAL.....	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
4.1 POPULARIZAÇÃO.....	10
4.2 ORIGEM HISTÓRICA.....	10
4.3 RECEITA ARTESANAL.....	13
4.4 BIOPROCESSOS ENVOLVIDOS.....	17
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>25</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>

## 1 Introdução

A kombucha é um chá fermentado natural produzido a partir da infusão da planta de *Camellia Sinensis*, conhecida popularmente como Chá-da-Índia. É preparada utilizando partes diferentes dela. Os três tipos mais comuns de chá podem ser o chá verde, uma mistura entre as folhas e o caule da planta, o chá preto, uma mistura de plantas diferentes da família da *Camellia Sinensis*, e o chá branco, proveniente da flor dela (Jayabalan *et al.*, 2014).

A bebida é um probiótico, isto é, decorre diretamente da atividade metabólica de microrganismos como as leveduras do gênero *brettanomyces* e bactérias do tipo *gluconobacters* e do tipo *acetobacters*. Duas fermentações se fazem presentes no meio: a fermentação alcoólica e a fermentação de ácido acético (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Estes microrganismos habitam em disco de celulose responsável por proteger o substrato do ambiente ao mesmo tempo que permite as trocas gasosas entre ambos. Este disco é chamado de SCOBY, sigla para cultura simbiótica de bactérias e leveduras (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

A fermentação da kombucha é bem-sucedida quando o pH da mistura estiver em torno de 3,4 a 2,4, quando ocorre o aparecimento de bolhas evidenciando a produção de gás carbônico e quando há um crescimento da película de celulose na superfície (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

## **2 Justificativa**

Com a kombucha se tornando um produto comercial e se popularizando, observou-se a necessidade de iniciar discussões acerca da viabilidade desta, como os custos e as grandezas relacionadas à produção industrial da bebida. Julgou-se necessárias contribuições acadêmicas acerca da produção de kombucha, o que suscitou a motivação desta monografia.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Este trabalho teve por objetivo estudar e calcular parâmetros que auxiliem na implantação de uma planta para a produção de 14.000 litros de kombucha mensais.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos foram: realizar um balanço de massa para obter a quantidade de cada ingrediente a ser alimentado nos tanques visando a produção do volume estabelecido; realizar um balanço de energia para determinar a área de transferência total das placas de um trocador de calor; confeccionar um descritivo do processo industrial; projetar o fluxograma do processo em questão; construir um diagrama de Gantt para determinar o ciclo mensal de entrega dos lotes e por fim, determinar custos de produção e maneiras de diminuir estes.

## 4 Revisão Bibliográfica

### 4.1 Popularização

Uma força motriz que tem aberto novas possibilidades no mercado alimentício é a demanda crescente por alimentos e bebidas “saudáveis”. Devido à alta procura desses produtos, a Secretaria de Vigilância Sanitária regulamentou o conceito semântico que fundamenta a noção de alimento funcional: Esses são “todo alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, [...] produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos benéficos para a saúde.” A agência também afirma que tais alimentos devem ser seguros para consumo, excludente de supervisão médica (ANVISA, 1999).

Desde a década de 90, ajustes no entendimento desse setor foram sendo atualizados frequentemente. Isso é um reflexo da tendência de sua popularização. As redes sociais, em especial plataformas como o YouTube, traduzidas pela facilidade de acesso, se provaram essenciais para o aumento do conhecimento geral acerca desses alimentos (Farisco, 2020). A diversidade dos tipos funcionais tem ajudado a ampliar as suas disponibilidades no mercado. Um dos primeiros a se popularizarem foram os probióticos, consumidos à exaustão durante o início do milênio. São “microorganismos vivos capazes de melhorar o equilíbrio microbiano intestinal produzindo efeitos benéficos à saúde do indivíduo” (ANVISA, 2014).

Produtos comercializados com bactérias probióticas em seu conteúdo variam desde leites fermentados e iogurtes até suspensões orais, visto que a ingestão dos alimentos citados é mais receptível em contraste com medicamentos. Desde então, uma bebida que tem sido amplamente propagada e adquirido seu espaço neste mercado é a kombucha.

### 4.2 Origem Histórica

Segundo Jayabalan *et al.* (2014), a kombucha é originária do leste asiático e data desde meados do século 2 a.C. Presume-se que tenha surgido por volta do ano 221 a.C. na China, mais especificamente na região da Manchúria, durante o governo da dinastia Tsing (Kapp; Sumner., 2011). A Manchúria é uma região fronteiriça à Coreia do Norte e que testemunhou diversos conflitos. Dominar esta região significava expandir rotas comerciais direcionadas ao sudeste asiático. Por ser relativamente fácil de produzir domesticamente, a bebida se torna uma importante alternativa de consumo em períodos de escassez de recursos.

Era de consenso popular a superstição de que a bebida possuía propriedades mágicas associadas à imortalidade e por seu consumo ser diariamente realizado pelo próprio imperador, e dadas as condições hostis contra a sociedade e o medo da morte iminente nesta fotografia da história, a bebida rapidamente foi difundida entre as camadas mais populares da civilização, sendo utilizada até mesmo como mercadoria ou moeda de troca. Com a expansão das rotas comerciais, penetrou o leste europeu pela União Soviética, onde era consumida para a prevenção de reumatismo e hemorróidas (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000). Dali, seguiu para diversos outros países ao ocidente, em especial a Alemanha, encontrada no território durante a virada do século XX. Era chamada de Heldenpilz ou Kombuchaschwamm (Jayabalan *et al.*, 2014).

Anterior à Segunda Guerra Mundial, a bebida rapidamente se propagou pela Europa ocidental e norte da África (em especial pelas colônias francesas localizadas na região) (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000). Após 1945, a bebida se popularizou na Itália, onde foi apelidada de funkochinese (Jayabalan *et al.*, 2014). Com a informação de que os benefícios de sua ingestão se equiparavam aos daqueles associados ao iogurte, a bebida viu uma ascensão da sua popularidade em território suíço (Jayabalan *et al.*, 2014).

Atravessou o oceano Atlântico e teve sua industrialização iniciada na região do Vale do Silício, Califórnia, na década de 90. A fácil produção do consumível propiciou um aumento significativo de fábricas por todo o território estadunidense e os consumidores presenciaram uma enorme escalada na oferta do produto em solo americano. A kombucha passou a ter grande disponibilidade comercial, até mesmo em lojas de varejo de cidades de pequeno porte.

Em 2014, com o consumo crescente da bebida, foi criada uma organização sem fins lucrativos com o nome Kombucha Brewers International (KBI) com o intuito de opinar sobre os novos esforços para legislar sobre regulamentações acerca do produto.

Em setembro de 2019, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento ou MAPA, em parceria com a Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) verificou a necessidade de impôr regulamentações sobre a kombucha, que editou uma norma criando uma definição oficial para ela: "[uma] bebida fermentada obtida através da respiração aeróbia e fermentação anaeróbia do mosto obtido pela infusão ou extrato de *Camellia Sinensis* e açúcares por cultura simbiótica de bactérias e leveduras microbiologicamente ativas (SCOBY)". Essa norma estabeleceu parâmetros analíticos, classificação (alcoólica ou não alcoólica), rotulagem, composição e proibições. No entanto, experimentos utilizando outros substratos distintas do chá de *Camellia Sinensis* vêm encontrando uma variedade de registros

na literatura. A kombucha feita com o chá mencionado é o que mais possui resultados empíricos satisfatórios para ser comercializado.

No mesmo ano, a KBI noticiou o registro de 235 empresas de kombucha espalhadas por ambos os hemisférios, assim descritas na figura 1:

Figura 1 - Número de empresas registradas na Kombucha Brewers International em 2019

<b>Número de empresas de Kombucha registradas na KBI (n =235)</b>	
<b>Região</b>	<b>Países (número de empresas)</b>
Ásia e Oceania (n = 31)	Austrália (15); China (4); Índia (1); Japão (1); Nova Zelândia(7); Coreia do Sul (2); Tailândia (1)
Europa (n = 30)	Bélgica (1); Finlândia (2); França (1); Alemanha (2); Islândia (1); Irlanda (2); Holanda (2); Portugal (1); Eslovênia (1); Espanha (9); Suíça (1); Turquia (2); Reino Unido (5);
América do Norte (n = 162)	Canadá (28); Estados Unidos (134)
América Latina (n = 12)	Brasil (3); México (9)

Fonte: ABKOM, 2019.

Em 2018, assim como relatado anteriormente nos EUA, foi criada em território brasileiro a ABKOM, Associação Brasileira de Kombucha, a fim de exigir a regulamentação nacional da bebida, além do desenvolvimento de padrões de qualidade, ampliação do setor, bem como a melhoria dos insumos, equipamentos e matérias-primas. A associação sem fins lucrativos promove proteção e representação dos produtores comerciais no Brasil. Segundo a ABKOM (2019), a agência naquele ano possuía cadastrados 49 produtores, cujo faturamento somado chegava à grandeza de 11 milhões de reais e 500 mil litros produzidos por mês.

### 4.3 Receita Artesanal

Para descrever a metodologia domiciliar, procurou-se em sites da internet como fóruns e comunidades a receita caseira utilizando palavras-chaves como receita, kombucha e casa, onde relatou-se a produção da bebida.

A kombucha produzida em escala doméstica possui métodos similares, porém ligeiramente distintos aos daqueles realizados em escala industrial, principalmente em relação aos equipamentos e manuseio dos produtos, ambos com finalidades próprias.

Segundo Jayabalan *et al.* (2014), sua receita passou por aprimorações geracionais que permitiram o aperfeiçoamento do produto, contudo esse benefício passou a gerar o custo de torná-lo usualmente restritivo em diversos aspectos. Quantidades, higienização e por vezes, tempo de residência são requerimentos que devem ser levados à risca dada a fragilidade no manuseio do SCOBY. Cuidados como a proteção e barreira sanitária dos vasilhames são indispensáveis, pois a contaminação é comum e responsável pela maioria das perdas. A celulose onde se encontra o SCOBY é um ecossistema fechado caracterizado pelas relações de mutualismo entre as espécies que coabitam o mesmo. Qualquer pequeno distúrbio externo afeta consideravelmente a atividade das bactérias e leveduras presentes nele, levando até mesmo à morte dos organismos, devido à fragilidade requerida durante a execução.

O chá utilizado deve ser estritamente obtido da infusão da *Camellia Sinensis*, como oficialmente regulamentado. Alguns usuários também reportam terem começado a experimentar outros tipos de substratos recentemente, como por exemplo, chás cafeinados. A escolha do tipo de chá, no entanto, é flexível, podendo ser tanto o preto, quanto o verde ou o branco. A água utilizada pode advir de diferentes fontes, desde que esteja devidamente filtrada. Todas as vidrarias e utensílios presentes devem ser higienizadas com álcool líquido, interna e externamente. Isto posto, esta é a lista de ingredientes a ser utilizada:

- 15 gramas de chá de *Camellia Sinensis* (verde, preto ou branco);
- 1 litro de água filtrada em temperatura ambiente;
- 1,5 litro de água gelada filtrada;
- 150 gramas de açúcar cristal orgânico ou demerara;
- 1 disco de celulose contendo colônia simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY);
- 120 mililitros de chá de arranque (starter);

Inicia-se os preparativos pela higienização integral do vasilhame que receberá o chá quente com borrifadas de álcool, ambas as partes internas e externas, incluindo a boca do frasco. Deve-se permitir a secagem natural, que é rápida devido à alta volatilidade da

substância. Com o auxílio de uma balança de cozinha, pesa-se 15 gramas de chá da escolha do usuário (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Ainda segundo Jayabalan *et al.* (2014), a diferença entre os tipos de chá é que o verde é uma mistura entre as folhas e o caule da *Camellia Sinensis* e o Oolong/chá preto é uma mistura de diversas plantas, incluindo plantas da família da *Camellia Sinensis*. Já o chá branco é composto por apenas flores da citada, sendo o menos em conta, contudo mais fácil de ter as suas fibras quebradas pelo SCOPY, o que torna a fermentação mais rápida. Aquelas ervas que utilizam partes que provêm do caule da *Camellia* provocam uma aparência mais escura ao chá.

O chá deve ser comprado em sacos, evitando-se chás soltos em lojas de produtos naturais, já que o tempo em que eles se encontram abertos em exibição não é mensurável. Em seguida, com a finalidade de realizar a infusão, aquece-se 1 litro de água. A água utilizada deve ser filtrada ou mineral. Evita-se água de torneira pois o conteúdo de cloro é alto (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

A temperatura de aquecimento ideal ocorre no momento em que as primeiras bolhas começam a escapar do líquido, que deve ser imediatamente retirado do aquecimento, pois assim preservou-se melhor os óleos essenciais presentes no chá. A escolha também pode ser explicada pela tentativa de evitar que, a altas temperaturas, certas substâncias se desprendem da erva causando a sensação de amargor no gosto final, portanto, é necessário desligar o fogo nos primeiros sinais de fervura que ocorram (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Em uma chaleira, adiciona-se a água e o açúcar para possibilitar uma boa dissolução. Existe uma flexibilização quanto à quantidade de açúcar. Um exemplo é quando, durante a fase da savorização, o usuário for utilizar uma fruta que já é naturalmente adocicada. Nesta situação, é aconselhável uma quantidade menor do ingrediente, em torno de 120 gramas ao invés dos 150 gramas explicitados nos ingredientes. O açúcar induz a uma reação das bactérias, que o consomem e permitem as reações de quebra dos componentes do chá concomitantemente à sua fermentação. Após o início da fervura, desliga-se o fogo, despeja-se o chá e realiza-se a mistura homogeneamente de modo que o açúcar não se precipite, impedindo a sua perda. Após o procedimento, tampa-se o recipiente e espera-se 10 minutos, tempo necessário para o fenômeno da infusão acontecer (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Não se utiliza açúcar refinado, visto que ele passa por demasiados processos químicos que não garantem um açúcar puro, podendo haver contaminação no processo produtivo. Açúcar de coco também é utilizado por alguns preparadores, porém também pode acabar

vindo contaminado com outros microrganismos. O açúcar demerara orgânico é o mais propício por não ser tão processado quanto os demais (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

O armazenamento do chá é realizado em local seco e arejado, livre da contaminação de novos microrganismos que competem com o SCOBY. Ele fica em uma prateleira aberta para boa circulação de ar. A fermentação ocorre também em local aberto onde a luz não incide diretamente ao invés de armário fechado. A ausência de fluxo de ar pode prejudicar as trocas gasosas entre a suspensão e o ambiente através da película (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Com a ajuda de uma superfície com baixa condutividade térmica para impedir o choque térmico, visto que o líquido se encontrará quente, verte-se o conteúdo com o cuidado de filtrá-lo usando um passador de aço inox chamado chinoy, um funil industrial com uma malha densa e orifícios pequenos, com a finalidade de impedir a passagem de artefatos sólidos decorrentes da erva. O passador foi devidamente higienizado com álcool antes de seu uso. Mistura-se para obter uma suspensão na qual todas as partes da erva habitam por completo o corpo líquido para facilitar a liberação de óleos essenciais durante a fase de infusão. Cobre-se o recipiente e espera-se a ação ocorrer por 10 minutos (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Em seguida, rapidamente realiza-se a preparação do frasco onde o sistema permanece durante a fermentação. Higieniza-se o frasco de 3 litros por inteiro com álcool, incluindo seu interior. Com um copo medidor, também esterilizado completamente, mensura-se os 120 mililitros de líquido starter (recém-comprado ou adquirido por uma hotelaria, advinda de resultados de fermentação passados). É, entretanto, no líquido starter/chá de arranque que se encontram as leveduras e bactérias onde a maior atividade fermentativa se fará. Apesar de haver também organismos ativos na película de celulose, esta é apenas o produto da atividade dos microrganismos. Realizar a fermentação sem o disco (apenas chá de arranque) aumentará consideravelmente o tempo de residência para no mínimo 30 dias. Tempo necessário para que novos discos de celulose se formem no sistema (Jayabalan *et al.*, 2014). Estes discos se formam conforme o espaço existente no diâmetro da vidraria. Discos complementares que vierem a se formar posteriormente ocupam um local próximo à superfície rotacionando-se voluntariamente de acordo com suas espessuras e densidades. O preparador não possui controle sobre esse fenômeno para não perturbar o sistema após o início da fermentação, na finalidade de evitar eventuais contaminações (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Verte-se no frasco de 3 litros, 1 litro e meio de água gelada (também filtrada anteriormente). Com o chinoy na boca do frasco, adiciona-se o chá que passou pela infusão de 10 minutos. Finaliza-se com o acréscimo de uma película de celulose que naturalmente se acopla à superfície. Assim, a kombucha fica pronta para a primeira fermentação. Fecha-se a boca da vidraria com um tecido Voil. Um elástico é colocado para manter o tecido preso no topo (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Com um pHmetro, mede-se ao longo dos dias e observa-se quando a solução chega ao pH ideal, que fica na faixa entre 3,4 e 2,4. Menos que 2,4, a solução ficará muito ácida. A medição via oral também é utilizada de forma complementar. A temperatura ótima de atividade do SCOBY varia entre 21°C e 29°C:

**Temperaturas muito baixas (abaixo de 21°C):** A fermentação se torna muito lenta, o que pode resultar em um sabor doce e sem complexidade. Em alguns casos, o SCOBY pode entrar em estado de “hibernação”, o que faz com que o processo de fermentação pare ou demore muito mais do que o desejado.

**Temperaturas muito altas (acima de 29°C):** Quando a temperatura é muito alta, a atividade do SCOBY se acelera de forma excessiva. Isso pode resultar em uma kombucha excessivamente ácida ou até em uma fermentação descontrolada, com risco de matar o SCOBY. Além disso, temperaturas elevadas podem aumentar o risco de contaminação, pois certos micro-organismos patogênicos podem se proliferar. (Vieira, 2024).

Segundo Bestkveik (2025), temperaturas acima de 49°C são deletérias para os microrganismos, “matando o SCOBY” se mantido em exposição à tais temperaturas. Sinais de que a película foi danificada incluem mudança na coloração, odores incomuns e textura viscosa. Neste momento, aconselha-se pelo descarte e o armazenou em local seco e arejado.

Realiza-se verificação frequente, visto que dependendo da temperatura ambiente, a duração da fermentação pode variar. Em temporadas de frio, 3 dias já podem ser suficientes para atingir o pH desejado, no entanto, em temporadas quentes, 5 a 7 dias podem ser necessários.

Após esta duração, forma-se o chá base, que pode até mesmo ser consumido como se encontra, porém, ainda não-aromatizado. Ele se torna a base para receitas futuras. Retira-se 120 mililitros (por conseguinte renovando os produtos e impedindo perdas pelo novo

processo) e os despeja juntamente com o SCOBY inicial e aquele formado durante o processo de síntese das bactérias e leveduras em um recipiente. Um dos recipientes pode não ser atualizado com a adição de novo líquido com o objetivo de causar uma alta quantidade de ácido acético no sistema e ser usado na cozinha como vinagre natural (esse processo dura cerca de 4 meses). Caso a segunda fermentação não seja feita de imediato, deve-se refrigerar o sistema, diminuindo assim a atividade metabólica dos microrganismos (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

Caminhando para a segunda fermentação, adiciona-se suco com a ajuda de um funil, na quantia de 2 copos americanos para cada 3 litros de chá base, mantida essa proporção para diferentes volumes de preparo. Caso o suco tenha pedaços de fruta, deve-se manter a vidraria por mais dois dias tampada com papel filme em refrigerador para maior assimilação do sabor. Esta produção doméstica rende em torno de 5 garrafas pet ou de vidro escuro de 1 litro. Acompanha-se a gaseificação através do tato externo, pela pressão sentida na superfície da garrafa. A segunda fermentação é anaeróbia, cuja função foi de gaseificar e fixar o sabor (Greenwalt; Steinkraus; Ledford, 2000).

#### **4.4 Bioprocessos Envolvidos**

A kombucha é produzida através da combinação entre chá, açúcar, e uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY). Toda a atividade metabólica presente na mistura decorre do SCOBY, responsável por digerir e quebrar moléculas de açúcar, gerando diversos produtos neste processo, como a celulose, observada na figura 2:

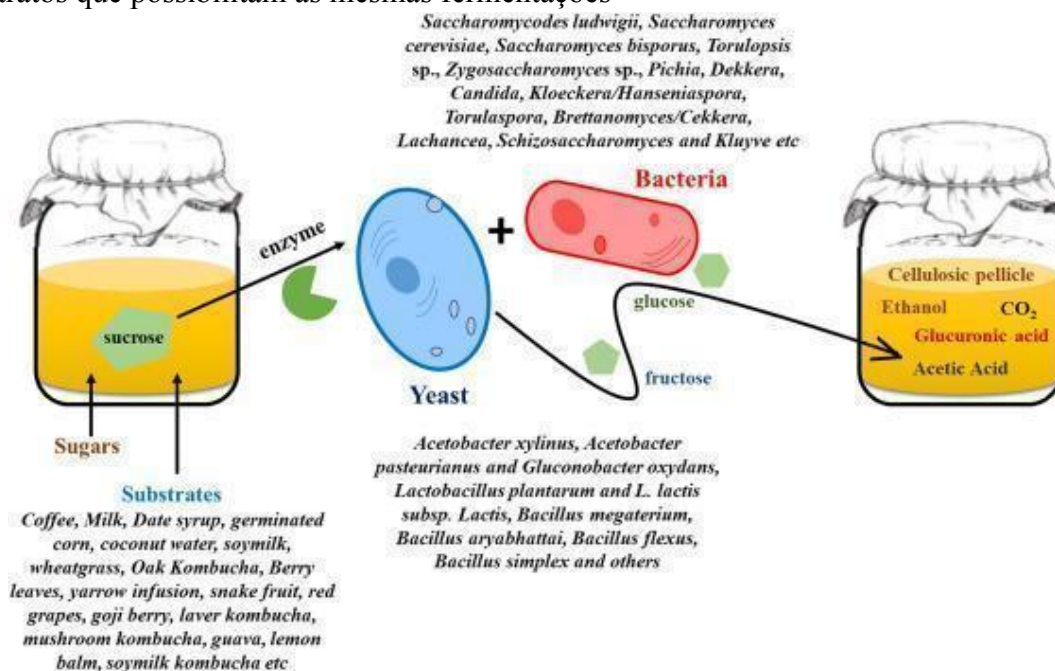
Figura 2 - Disco de celulose e líquido starter ao fundo, ambos contendo SCOBY



Fonte: Google.

A celulose pode ser informalmente descrita como uma ‘cidade’, na qual as espécies de bactérias e de leveduras vivem em comunidade, em uma associação conhecida como simbiótica, pois ambas cooperam entre si, a fim de obter benefícios mútuos. Ambas trabalham em conjunto para transformar o açúcar presente na solução em vários subprodutos. Dois tipos de fermentação de fazem presente: fermentação alcoólica e fermentação acética. A fermentação acética é realizada pelas bactérias de ácido acético (AAB). É possível que uma terceira fermentação ocorra, a fermentação láctica, caso o produtor adicione ao SCOBY bactérias de ácido láctico (LAB). Os possíveis tipos de microrganismos que podem ser encontrados estão expostos na figura 3:

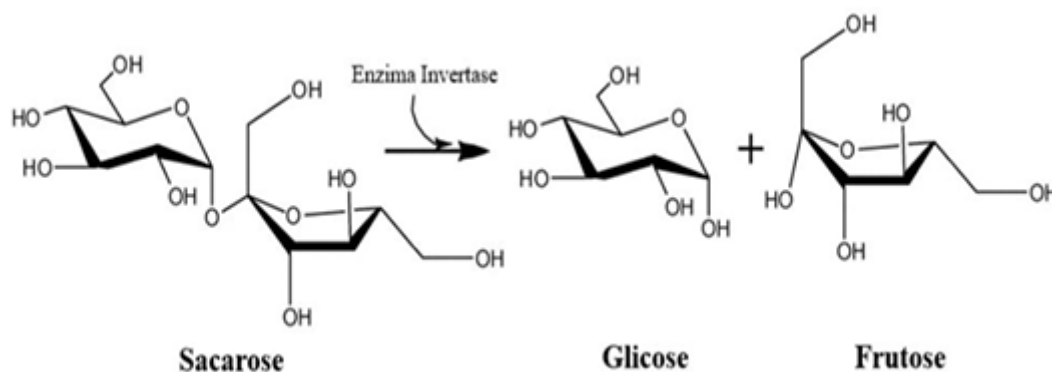
Figura 3 - Espécies de levedura e bactérias envolvidas no processo, assim como possíveis substratos que possibilitam as mesmas fermentações



Fonte: Sanwal *et al.* (2023).

Bactérias não são capazes de digerir o açúcar adicionado à solução no seu formato inicial de sacarose. Porém, é de interesse das leveduras realizar a quebra da sacarose, o que é benéfico para as bactérias. No SCOBY, existem dezenas de gêneros de leveduras, mas as mais predominantes são as da família *brettanomyces*. Por intermédio de uma enzima produzida pelas leveduras, chamada invertase, é possível quebrar a molécula de sacarose em componentes menores de açúcar: glicose e frutose. O fenômeno estrutural está demonstrado na figura 4:

Figura 4 - Sacarose (à esquerda) tem sua molécula quebrada e forma dois produtos, glicose e frutose (à direita)

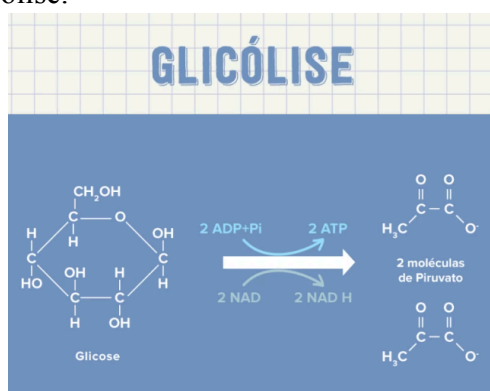


Fonte: OpenStax Biology (2004).

O mecanismo acontece pois a enzima, agindo como uma proteína catalisadora, com um sítio ativo naturalmente desenvolvido para capturar a sacarose, acopla-se a ela, que por definição é conhecida como substrato.

Em seguida, através de um fenômeno chamado Ciclo de Krebs (que ocorre na matriz mitocondrial em células eucariotas, como as das leveduras, ao contrário de ocorrer no citoplasma celular em células procariotas, como as das bactérias, visto que estas não possuem mitocôndrias), as leveduras utilizam um nucleotídeo conhecido como difosfato de adenosina (ADP) para transformar cada molécula de glicose em duas moléculas de piruvato, gerando assim, outro nucleotídeo chamado trifosfato de adenosina (ATP), fenômeno conhecido como glicólise. Também estará presente a nicotinamida adenina dinucleotídeo (NAD), uma coenzima essencial encontrada em todas as células vivas, crucial para o metabolismo energético, reparo de DNA e regulação genética (OpenStax Biology, 2004). A Glicólise está demonstrada na figura 5:

Figura 5 - Processo da Glicólise.

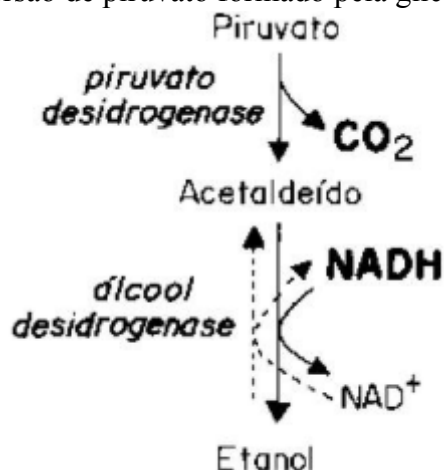


Fonte: OpenStax Biology (2004).

ATP é responsável por armazenar energia química nas ligações entre os fosfatos.

As moléculas de piruvato seguem para as mitocôndrias, onde na presença de NAD<sup>+</sup> (NAD H) produzido durante a etapa da glicólise, muito reativa, haverá a oxidação do piruvato que perderá um grupo dióxido de carbono no processo e se formarão moléculas de acetaldeído ao serem descarbolizadas no processo de piruvato desidrogenase e em seguida, reduzidas a etanol no processo de álcool desidrogenase, completando desta forma, a conversão do açúcar em álcool, como pode ser visualizado na figura 6 (OpenStax Biology, 2004):

Figura 6 - Esquema da conversão de piruvato formado pela glicólise em etanol



Fonte: OpenStax Biology (2004).

Esse processo é auto suficiente, pois o processo de álcool desidrogenase é reversível e sempre que ocorre produz  $\text{NADH}$ , uma coenzima carregada de energia química.

Glicerol também pode ser um produto dessa reação. Esse composto é altamente solúvel em álcool e água e contribui para adocicar o chá base de kombucha, além disso, quando consumido, ele auxilia na hidratação de atletas e atua como umectante (substância que retém umidade) contribuindo para manter a umidade natural da pele. A liberação de dióxido de carbono no processo é o que torna a kombucha gaseificada. Por conta disso, é um erro ignorar a presença de álcool na solução, porém em quantidades ínfimas (< 0,5% ABV). No entanto, contrário às leveduras presentes em cervejas, leveduras no SCOBY são incapazes de sobreviver em ambientes com altas concentrações de álcool, por isso, para sua sobrevivência, elas não produzem quantidades equiparáveis de etanol às suas homólogas, que chegam a produzir 20 vezes mais a concentração do álcool. Por isso, o excesso de etanol sempre passa por álcool desidrogenase ou é sintetizado pelas bactérias do SCOBY (Sanwal, 2023).

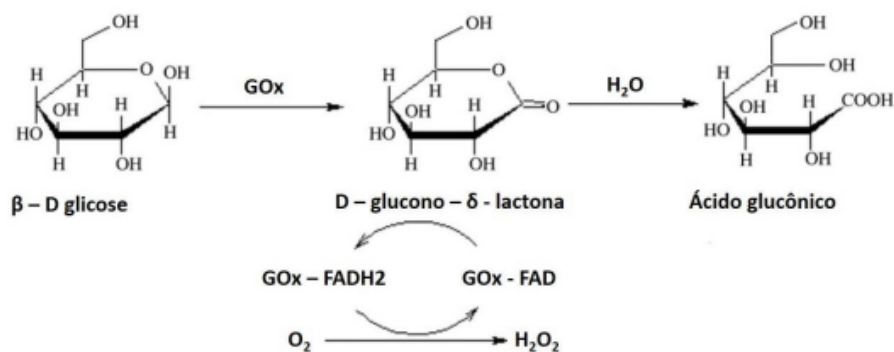
Em contrapartida, as bactérias são responsáveis por transformar o etanol produzido pelas leveduras em ácido acético, o que dá ao produto uma sensação palatável familiar ao de uma pitada de vinagre. Para balancear, é necessário que haja bastante açúcar no sistema para que o SCOBY não perca a sua fonte de alimentação e se torne incapaz de produzir tanto o etanol quanto o ácido acético, cessando assim o processo fermentativo. Caso muito açúcar esteja presente, SCOBY pode produzir álcool e ácido em excessivas quantidades, o que

também causa uma parada na fermentação e, por conseguinte, uma solução extremamente avinagrada.

No SCOBY, existem duas famílias de bactérias, responsáveis pela liberação de produtos distintos. São elas as *gluconobacters* e as *acetobacters* (Sanwal *et al.*, 2023).

Segundo Souza (2017), na presença de oxigênio, parte da glicose não utilizada pelas leveduras oxida por intermédio da glicose oxidase, uma enzima que está presente em todos os organismos aeróbios e que pertence ao grupo de enzimas oxidorreductases. Em suma, o grupo hidroxílico primário C6 da molécula de glicose é separado, produzindo como resultado da oxidação ácido glucônico, como demonstrado na figura 7:

Figura 7 - Processo de transformação da glicose em ácido glicônico

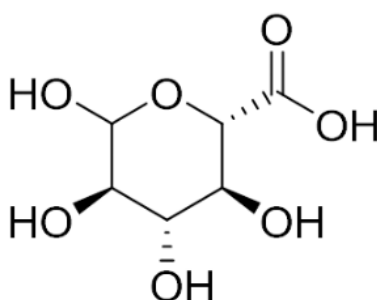


Fonte: OpenStax Biology (2004).

O ácido glucônico é um regulador de acidez.

Em seguida, através de uma hidrólise espontânea com a presença de peróxido de hidrogênio produzido durante a reação de álcool desidrogenase, a molécula se torna ácido glicurônico com a formação de um grupo carboxílico como descrito na figura 8:

Figura 8 - Molécula de ácido glicurônico

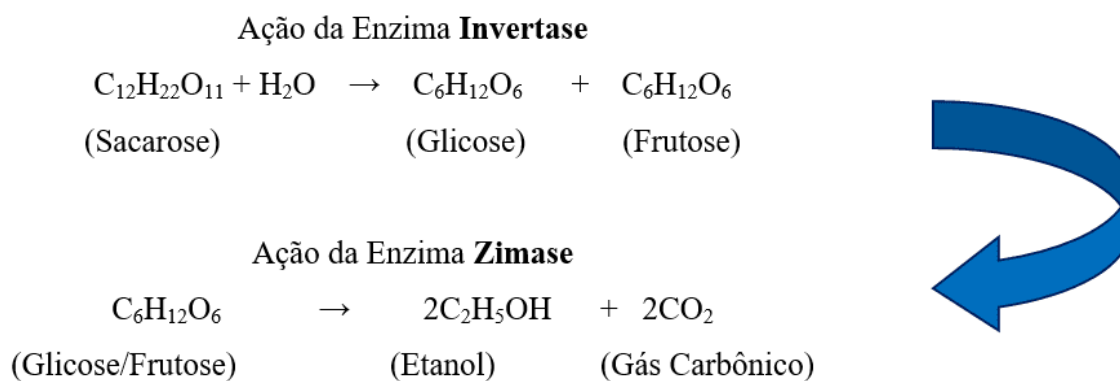


Fonte: OpenStax Biology (2004).

O ácido glicurônico também é produzido pelo fígado humano através da glicose e é crucial para a desintoxicação no corpo.

Por sua vez, as bactérias *acetobacters* atuam de forma independente das *gluconobacters*, isto é, sobre a frutose gerada pelas reações provocadas pelas leveduras e não sobre a glicose como as primeiras o fazem. No entanto, a frutose deve passar por um fenômeno parecido com o que ocorreu com a sacarose, contudo através de uma enzima diferente presente nas bactérias de ácido acético: a zimase (Sanwal *et al.*, 2023). A ação dessa enzima está mostrada na figura 9:

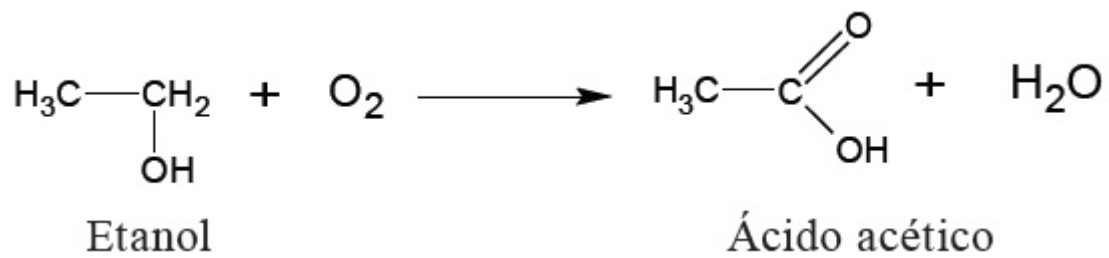
Figura 9 - Correlação entre a quebra das moléculas de sacarose pela enzima invertase com a quebra das moléculas de frutose pela enzima zimase (fermentação alcoólica).



Fonte: OpenStax Biology (2004).

O processo também pode ocorrer com moléculas de glicose, mas devido à escassez desta no meio, visto que a molécula já está sendo priorizada pelas *gluconobacters*, as *acetobacters*, com o auxílio da enzima zimase, quebram as moléculas de frutose (bactérias são capazes de quebrar moléculas menores de açúcar, mas não maiores como as moléculas de sacarose, o que é realizado pelas leveduras). Para cada reação, tem-se como produto mais uma molécula de etanol e duas moléculas de gás carbônico, carbonatando ainda mais o sistema. Após a ação, o etanol sofre oxidação na presença de oxigênio e como resultado da reação é produzido ácido acético e água. O ácido acético causa a sensação de picância, ardência, formigamento e um toque avinagrado leve (Sanwal *et al.*, 2023). O processo está demonstrado na figura 10:

Figura 10 - Etanol e gás oxigênio gerando ácido acético e água

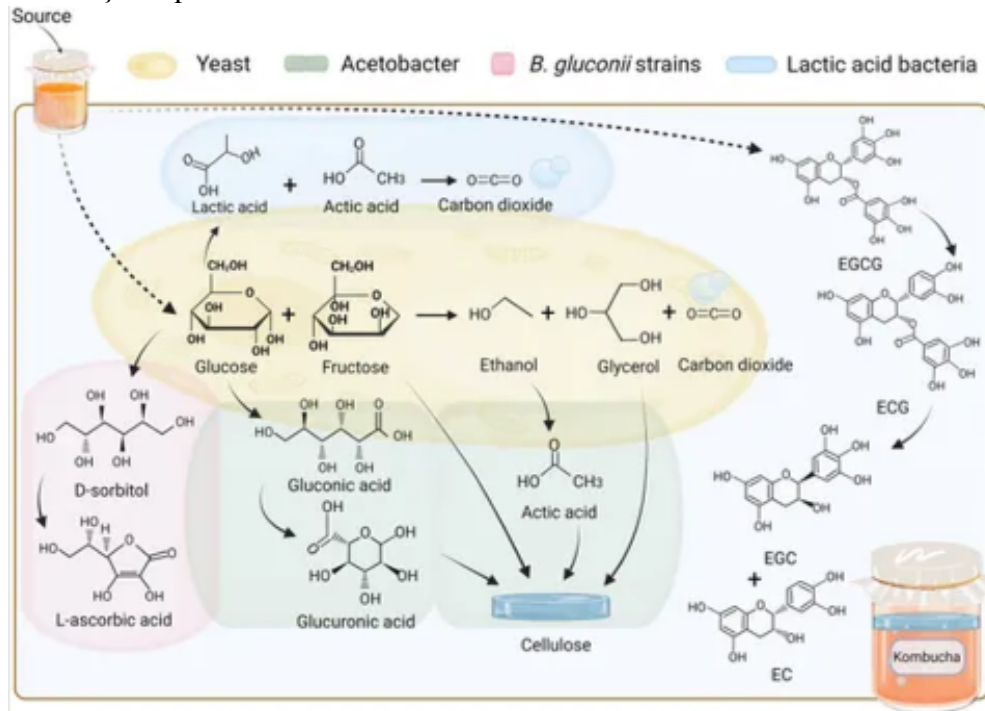


Fonte: OpenStax Biology (2004).

Com inúmeras moléculas de grandes cadeias carbônicas produzidas pelas reações das leveduras e bactérias, as moléculas de glicose, as moléculas de frutose, as moléculas de ácido glicurônico, as moléculas de ácido acético e as moléculas de glicerol ligam-se criando um disco denso em compostos de cadeia carbônica extensa. Esta película de celulose protege o sistema de distúrbios externos como contaminação por outros microrganismos e os espaços vazios entre as ligações permitem a entrada e saída de gás oxigênio, garantindo as trocas gasosas necessárias para a formação das reações bioquímicas na suspensão. Devido à baixa espessura e densidade (por conta da porosidade), o disco tende a subir por empuxo no sistema e se instalar na superfície do líquido, logrando assim êxito em proteger todo o sistema abaixo. Formações complementares de celulose tendem a se formar próximo da superfície, bem como a película original (Sanwal *et al.*, 2023).

As reações estão demonstradas na figura 11:

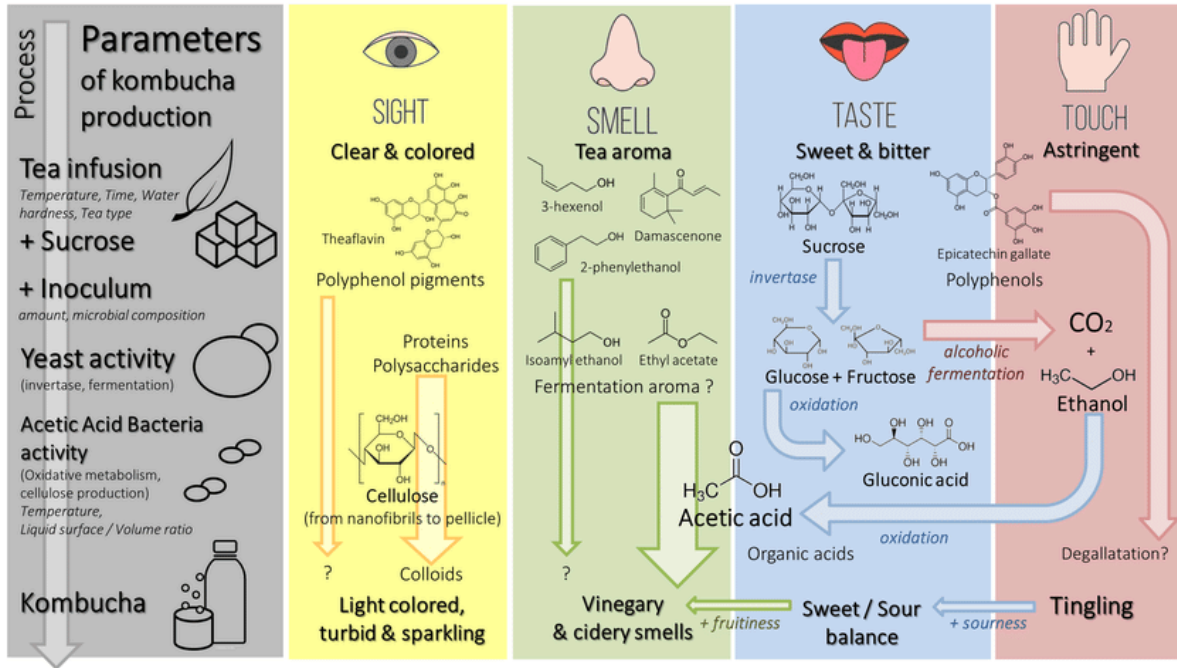
Figura 11 - Reações que ocorrem no sistema



Fonte: Tan; Tang; Tong; Yang (2023).

A coloração leve clara, solução turva e líquido espumante são causadas pelas proteínas polissacarídicas presentes na celulose. O aroma de chá com cheiros de vinagre e cidra é causado pelo ácido acético após um balanceamento entre doce e amargo por conta da presença de açúcares na solução como a glicose e frutose que restaram após as reações, contribuindo também para o gosto agri-doce, e por fim, a sensação de adstringente, causado pela presença de álcool e ácidos no líquido (Sanwal *et al.*, 2023). Os parâmetros sensoriais estão mostrados na figura 12:

Figura 12 - Diagrama lúdico das propriedades que cada composto químico oferece à kombucha



Fonte: Tran *et al.* (2020).

## **5 Materiais e Métodos**

O trabalho foi realizado com base em uma pesquisa exploratória e bibliográfica, com estudos de artigos, projetos acadêmicos e científicos na área da produção da kombucha, execução de um estágio acadêmico nas instalações de uma empresa produtora e posteriores análises de fluxograma, cálculos de balanço de massa e energia e estudo das principais variáveis do processo.

Durante o estágio, foi possível conhecer as instalações e equipamentos envolvidos nos processos de produção do chá. A visita foi essencial para garantir o entendimento da produção da bebida, além da oportunidade de ter contato com a área tecnológica. Todos os detalhes do processo visitado foram essenciais para a elaboração deste projeto.

## 6 Resultados e Discussões

Para determinar os volumes de entrada e saída, utilizou-se a Equação da Continuidade representada pela Eq. (1):

$$acúmulo = entrada - saída + geração - consumo \quad \text{Eq. (1)}$$

Como todos tanques os tanques operam em batelada, o acúmulo é nulo. A geração e o consumo também serão nulas, visto que as reações bioquímicas presentes são de ordem microscópica e fazem parte da suspensão como um sistema fechado. Sendo assim, tem-se a equação a seguir:

$$entrada = saída \quad \text{Eq. (2)}$$

Para dimensionar o trocador de calor, calculou-se a taxa de transferência de calor do fluido quente (chá). Para isso, utilizou-se a equação do calor sensível, representada pela Eq. (3):

$$q = m \cdot c_p \cdot \Delta T, \quad \text{Eq. (3)}$$

onde  $q$  é a taxa de transferência de calor sensível,  $m$  é a massa do fluido,  $c_p$  é o calor específico do fluido e  $\Delta T$  é a variação de temperatura que este sofre.

Para determinar a quantidade de placas de um trocador, é utilizada a média logarítmica da diferença de temperaturas, a partir da Eq. (4):

$$\Delta T_{MLDT} = \frac{\Delta T_{saída} - \Delta T_{entrada}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{saída}}{\Delta T_{entrada}}\right)}, \quad \text{Eq. (4)}$$

onde  $\Delta T_{MLDT}$  é a média logarítmica da diferença de temperaturas,  $\Delta T_{entrada}$  é a temperatura de entrada do fluido a ser resfriado e  $\Delta T_{saída}$  é a temperatura de saída do fluido a ser resfriado.

Em seguida, é utilizada a equação geral de transferência de calor, representada pela Eq. (5):

$$q = U \cdot A_{transf} \cdot \Delta T_{MLDT}, \quad \text{Eq. (5)}$$

onde  $q$  é o calor,  $U$  é a energia interna específica do fluido,  $A_{transf}$  é a área de transferência de calor e  $\Delta T_{MLDT}$  é a média logarítmica da diferença de temperaturas.

Como cada lote partirá de tanques de 5.000 litros, optou-se pela produção separada de 4.700 litros de kombucha por vez em 3 lotes. Inicia-se com a fervura da água para infusão. Segundo Arruda *et al.* (2021), a proporção entre água fervente e erva é de 99% para 1%. Sabe-se que o chá adoçado e a água fria compõem cada um metade do espaço disponível (Arruda *et al.* 2021). A fim de produzir a quantidade visada do produto, utilizou-se como base metade do volume do tanque. Com a intenção de evitar sobrecarga e prevendo aumento de massa, decidiu-se aplicar uma margem de proteção de 10% sobre a massa inicial de água quente, como calculado na equação a seguir:

$$\frac{90}{100} \times 2500 \text{ kg (massa de entrada)} = 2250 \text{ kg} \quad \text{Eq. (6)}$$

Em seguida, foram calculadas as quantidades de massa de água quente e erva necessárias para o processo.

Os cálculos para a etapa de infusão estão demonstrados a seguir:

$$100\% \text{ (entrada)} = 99\% \text{ (água)} + 1\% \text{ (erva)} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$2250 \text{ kg (entrada)} = \frac{99}{100} \times 2250 \text{ kg (água)} + \frac{1}{100} \times 2250 \text{ kg (erva)} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$2250 \text{ kg (entrada)} = 2227,5 \text{ kg (água)} + 22,5 \text{ kg (erva)} \quad \text{Eq. (9)}$$

Após 15 minutos de infusão, o chá é filtrado, retirando-se a erva úmida. Os cálculos para a etapa de filtração estão demonstrados a seguir:

$$2272,5 \text{ kg (saída)} = 2227,5 \text{ kg (chá de infusão)} + 22,5 \text{ kg (erva úmida)} \quad \text{Eq. (10)}$$

Isto corresponde a:

$$100\% \text{ (saída)} = 98,02\% \text{ (chá de infusão)} + 1,98\% \text{ (erva úmida)} \quad \text{Eq. (11)}$$

Após a filtração, o chá é adoçado. A proporção de açúcar é 1:10 para cada unidade de chá (Arruda *et al.* 2021). Os cálculos para a etapa de adoçagem estão demonstrados a seguir:

$$\text{saída} = 2272,5 \text{ kg (chá filtrado)} + \frac{10}{100} \times 2272,5 \text{ kg (açúcar)} \quad \text{Eq. (12)}$$

$$2454,75 \text{ kg (saída)} = 2272,5 \text{ kg (chá filtrado)} + 227,25 \text{ kg (açúcar)} \quad \text{Eq. (13)}$$

Isto corresponde a:

$$100\% \text{ (saída)} = 90,74\% \text{ (chá filtrado)} + 9,26\% \text{ (açúcar)} \quad \text{Eq. (14)}$$

Após adoçar, o chá é resfriado através da passagem por um trocador de calor à placas. Em seguida, há a adição de água à temperatura ambiente (aproximadamente 25° C). Para impedir a sobrecarga, a água fria adicionada também sofrerá uma margem de proteção de 10% sobre a metade do volume do tanque. Os cálculos para a etapa de resfriamento estão demonstrados a seguir:

$$\text{saída} = 2454,75 \text{ kg (chá adoçado)} + \frac{90}{100} \times 2500 \text{ kg (água fria)} \quad \text{Eq. (15)}$$

$$4704,75 \text{ kg (saída)} = 2454,75 \text{ kg (chá adoçado)} + 2250 \text{ kg (água fria)} \quad \text{Eq. (16)}$$

Isto corresponde a:

$$100\% \text{ (saída)} = 52,18\% \text{ (chá adoçado)} + 47,82\% \text{ (açúcar)} \quad \text{Eq. (17)}$$

Assim que resfriado, o chá é bombeado para o fermentador e adicionado ao chá de arranque e o filme de celulose. Para a produção de aproximadamente 5000 litros, a massa de filme de celulose estimada adicionada ao sistema somado ao chá de arranque é de 10% da massa total, sendo uma proporção de 8:2 entre eles. Os cálculos para a etapa de fermentação estão demonstrados a seguir:

$$ent. = 4704,75 \text{ kg } (c) + \frac{8}{100} \times 4704,75 \text{ kg } (a) + \frac{2}{100} \times 4704,75 \text{ kg } (c) \text{ Eq. (18)}$$

$$5175,23 \text{ kg } (ent.) = 4704,75 \text{ kg } (c) + 376,38 \text{ kg } (a) + 94,095 \text{ kg } (c) \text{ Eq. (19)}$$

Por fim, é retirado o chá de arranque e a película de celulose, obtendo-se 4704,75 quilos de kombucha. Após o processo de fermentação, o filme de celulose dobrará sua massa (Arruda; Walter; Costa; Francisquine, 2021). Sendo assim, estima-se a obtenção de 188,19 quilos de celulose.

Convencionou-se que o calor específico do chá adoçado é aproximado da água, de valor 4,18 kJ/kg. 4.704,75 kg terão temperatura abaixada de 80 °C para 25 °C. Os cálculos estão demonstrados a seguir:

$$q_{quente} = 4704,75 \text{ kg} \times 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \times (80 \text{ } \cdot \text{C} - 25 \cdot \text{C}) \text{ Eq. (20)}$$

$$q_{quente} = 1,082 \text{ MJ} \text{ Eq. (22)}$$

Considerou-se um sistema fechado, onde não ocorrem perdas de calor para o ambiente. A partir disto, obteve-se a vazão mássica de água fria necessária para o resfriamento. Os cálculos estão demonstrados a seguir:

$$m_{frio} = \frac{q}{c_p \cdot \Delta T} \text{ Eq. (23)}$$

$$m_{frio} = \frac{1,082 \text{ kJ}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \cdot (80 \cdot \text{C} - 25 \cdot \text{C})} \quad \text{Eq. (24)}$$

$$m_{frio} = 4704,75 \text{ kg} \quad \text{Eq. (25)}$$

Em seguida, calculou-se a média logarítmica da diferença de temperaturas, a partir da Eq. (3). Os cálculos estão demonstrados a seguir:

$$\Delta T_{MLDT} = \frac{25 \cdot \text{C} - 80 \cdot \text{C}}{\ln\left(\frac{25 \cdot \text{C}}{80 \cdot \text{C}}\right)} \quad \text{Eq. (26)}$$

$$\Delta T_{MLDT} = 47,29 \text{ K} = 47,29 \cdot \text{C} \quad \text{Eq. (27)}$$

Para obter a energia interna específica da água, utilizou-se a tabela de propriedades termodinâmicas da água saturada demonstrada na figura 13:

Figura 13 - Propriedades termodinâmicas da água saturada

Temp. °C T	Sat. press. kPa P <sub>sat</sub>	Specific volume m <sup>3</sup> /kg		Internal energy kJ/kg			Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/(kg · K)		
		Sat. liquid v <sub>f</sub>	Sat. vapor v <sub>g</sub>	Sat. liquid u <sub>f</sub>	Evap. u <sub>fg</sub>	Sat. vapor u <sub>g</sub>	Sat. liquid h <sub>f</sub>	Evap. h <sub>fg</sub>	Sat. vapor h <sub>g</sub>	Sat. liquid s <sub>f</sub>	Evap. s <sub>fg</sub>	Sat. vapor s <sub>g</sub>
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001 040	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159

Fonte: Perry, R. H.; Green, D. W.; 1934.

Para a temperatura  $T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ , a energia interna da água saturada é  $U = 188,44 \text{ kJ/kg}$ , enquanto que para a temperatura  $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , a energia interna da água saturada é  $U = 209,32 \text{ kJ/kg}$ . Para calcular a energia interna da água saturada em  $T = 47,29 \text{ }^\circ\text{C}$ , utilizou-se o método da interpolação linear. O cálculo está demonstrado a seguir:

$$\frac{50 - 47,29}{47,29 - 45} = \frac{209,32 - x}{x - 188,44} \quad \text{Eq. (28)}$$

$$x = 198,00 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{Eq. (29)}$$

Portanto, na temperatura  $T = 47,29 \text{ }^\circ\text{C}$ , a energia interna da água saturada é  $U = 198,00 \text{ kJ/kg}$  ou  $U = 1049 \text{ J/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ .

Substituindo-se os valores obtidos na Eq. (5):

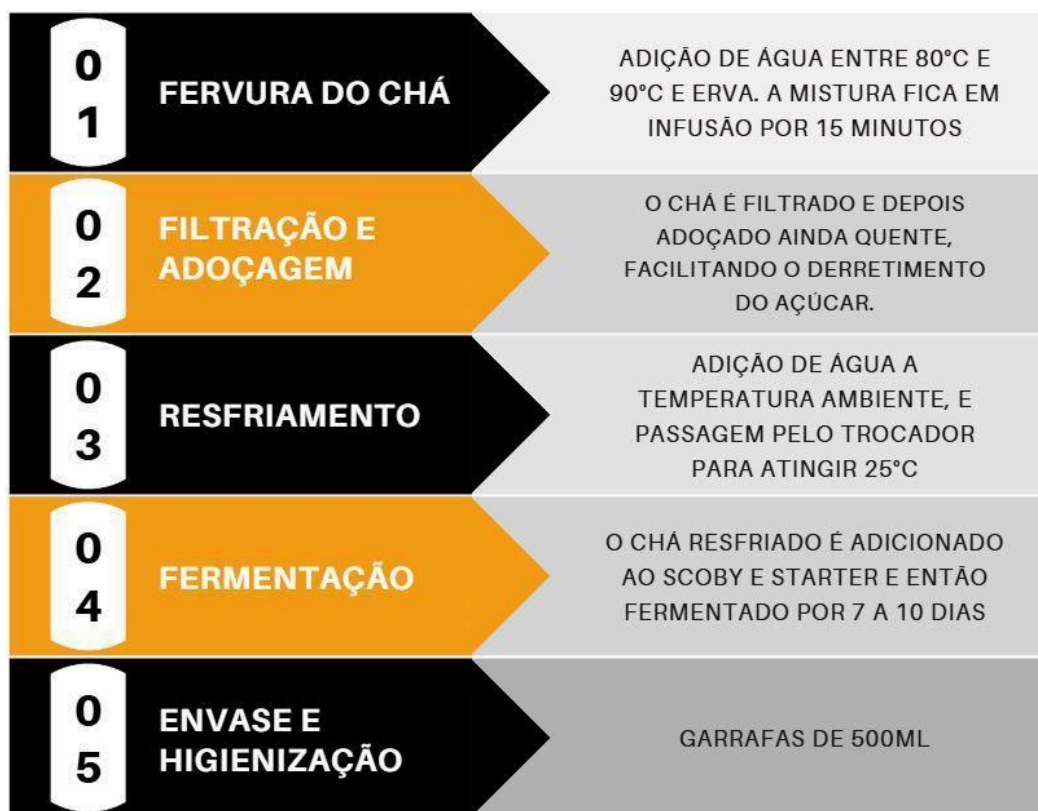
$$1,082 \text{ MJ} = 1049 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \times A_{\text{transf}} \times 47,29 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{Eq. (30)}$$

$$A_{\text{transf}} = 21,81 \text{ m}^2 \quad \text{Eq. (31)}$$

Um trocador de calor deve ter uma quantidade de placas que somadas fornecem 21,81 metros quadrados de área de transferência de calor.

O processo industrial da kombucha passa por cinco operações unitárias. São elas a fervura, a filtração, o resfriamento através de trocador de calor à placas e por fim, a fermentação. Concluindo-se as cinco etapas de produção está o envase (Arruda; Walter; Costa; Francisquine, 2021). Estas etapas foram mencionadas no descritivo do processo apresentado na figura 14:

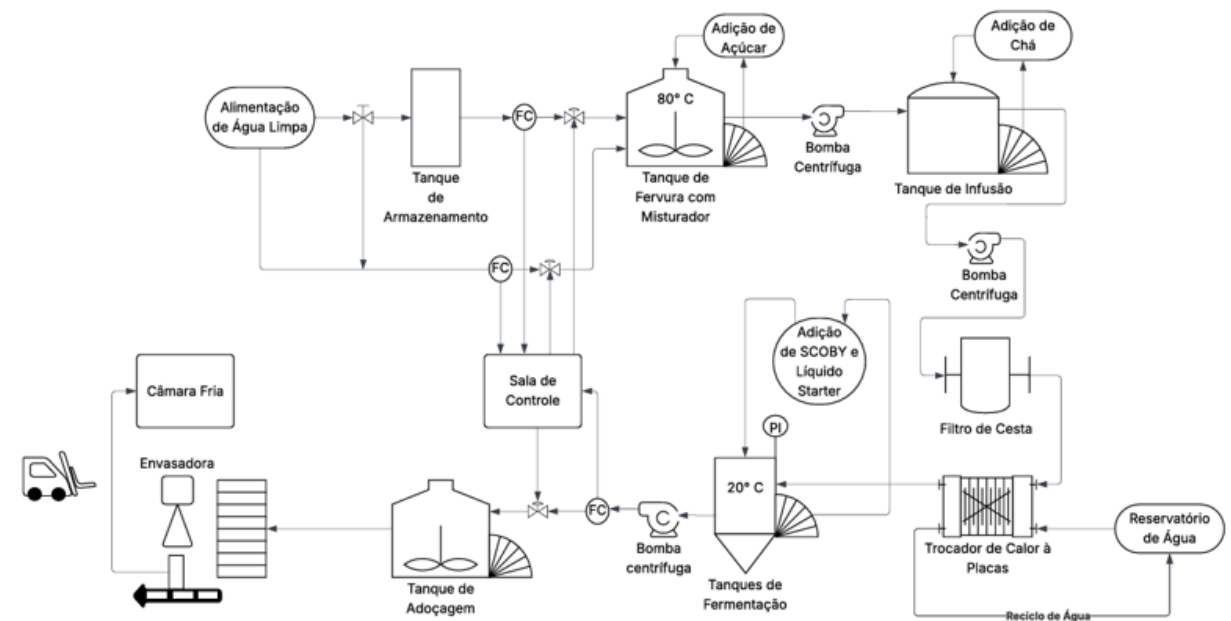
Figura 14 - Descritivo do processo de produção industrial da kombucha



Fonte: do autor.

Em seguida, esboçou-se um fluxograma de processo para a produção da kombucha em uma planta-piloto como explicitado na figura 15:

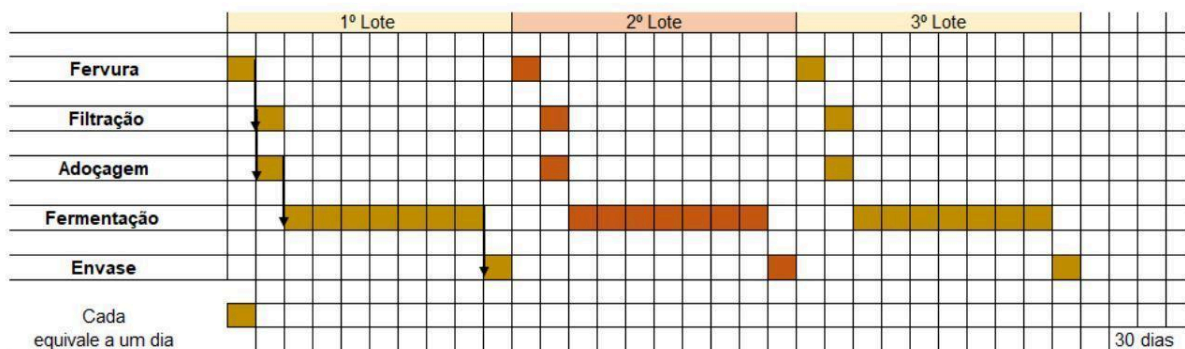
Figura 15 - Fluxograma de um processo fabril da produção de kombucha industrial



Fonte: do autor.

Para determinar prazos de entrega de lote, foi utilizado o Diagrama de Gantt demonstrado na figura 16:

Figura 16 - Diagrama de Gantt para uma produção mensal



Fonte: do autor.

A fermentação leva em média 7 dias, sendo este o gargalo do processo. Com o uso de um tanque pulmão de 15.000 litros, pode-se armazenar toda a produção de 3 lotes mensais de 4.704,75 litros, totalizando 14.114,35 litros. Considerando-se este ciclo mensal, observou-se que no período de 30 dias, será possível entregar 470,48 litros de kombucha por dia. Caso

deseje realizar o envase desta produção em garrafas de 500 mililitros, calculou-se uma produção de 28.228 garrafas por mês ou 940 garrafas por dia.

Ao se comparar a kombucha artesanal e a industrial, a diferença é intrigante: o custo do álcool para higienização será desconsiderado, visto que são utilizadas apenas borrifadas, desconsidera-se também o custo do SCOBY e líquido starter, que custam uma média de R\$19,90 nas lojas online, porque a reutilização do mesmo e a autorrenovação de ambos tornam este uma compra única. 150 gramas de açúcar demerara orgânico custam R\$1,09 (150 gramas de 5 quilos cujo valor é de R\$36,59). 15 gramas de chá verde custam R\$1,79 (15 gramas de um pacote contendo 100 gramas, cujo valor é de R\$11,95). Água filtrada e gás podem ser desprezados. Esta produção renderá 5 litros. O custo total será de R\$2,88 e, portanto, cada mililitro de kombucha produzida em domicílio é R\$0,00058. Uma lata de kombucha de 350 mililitros pode ser encontrada no varejo por R\$19,90, ou seja, para cada mililitro de kombucha, o preço será de R\$0,057. A razão entre ambos é um número exorbitante, 98,27 ( $R\$0,057/R\$0,00058$ ) vezes maior para a kombucha comercializada em relação à preparada artesanalmente. A conclusão é notável: o custo-benefício não se paga.

Além disto, segundo a Micet Group (2024), outra fabricante de equipamentos industriais que também oferece um catálogo on-line afirma que os custos médios para iniciar uma fábrica de kombucha varia entre R\$126.080,00 a R\$328.200,00, seguindo a cotação do dólar comercial durante a edição deste texto - R\$5,47. A seguir estão listadas plausíveis causas que possam provocar esta problemática dos altos custos de produção industrial da kombucha:

- Fermentação lenta: A fermentação exige um monitoramento constante e não permite a aceleração do processo como indústrias o fazem com outras bebidas. Esta duração consome espaço e confisca tanques por um tempo demasiadamente demorado;
- Ausência de possibilidade de pasteurização: A kombucha é um probiótico e a fermentação depende estritamente dos microrganismos presentes no sistema. Ferver com o propósito de eliminar possíveis impurezas está fora de cogitação, visto que altas temperaturas matariam a microbiota. Desta maneira, impedir a contaminação depende um trabalho mais árduo e minucioso. Qualquer perturbação imprevista no sistema pode descartar todo um lote de produção, o que torna a manufatura imprevisível;
- Produção em pequenos lotes: Como o processo não é contínuo e demanda uma operação unitária cuja espera para findar pode levar desde dias até semanas, os lotes são produzidos de forma esparsa. Isto impede, portanto, economias de escala;

- Legislação: Apesar da fermentação alcoólica gerar baixas quantidades de álcool e que inclusive serão consumidas durante a fermentação de ácido acético, etanol ainda assim é um produto das reações e um resíduo na kombucha preparada, o que pode posicionar a bebida como uma mercadoria que deve seguir a legislação vigente de produtos alcoólicos;
- Refrigeração constante: Assim que for produzida, a bebida deve ser mantida em baixas temperaturas constantemente, exigindo frequente refrigeração e aumentando os custos de armazenamento;
- Risco de explosão: Após deixar a fábrica, a kombucha passa a estar sob o cuidado de terceiros, que sem conhecimento, podem presenciar um acidente grave devido à pressão gerada pela segunda fermentação;
- Bebida nichada: A kombucha é consumida entre grupos seletos de pessoas, como praticantes de atividades físicas e simpatizantes do movimento fitness. Além de ser desconhecida pelo público geral, ela ainda encontra alta competitividade com outras bebidas já consolidadas no mercado;
- Uso de ingredientes premium: Alguns produtores de kombucha saborizam as suas produções com iguarias que podem encarecer o produto final. Alguns exemplos encontrados no mercado são de bebidas com ingredientes tais quais mirtilo, cúrcuma, pitaya, hibisco, chia, etc.
- Gourmetização da mercadoria: A kombucha recebe um marketing vindo de seus fabricantes que a conceitualizam como um produto que aparenta não ser voltado às massas, com a utilização de garrafas de vidro caras com rótulos sofisticados.

Dito isto, algumas sugestões para diminuir o custo da manufatura e aumentar as vendas são apreciadas por este autor:

- Aplicação de procedimentos de ordem artesanal mesmo em escala industrial, como por exemplo, a utilização de diversos frascos de três litros ao invés de tanques unificados. Isso possibilita que, caso haja contaminação no conteúdo de apenas um dos frascos, não seja necessário o descarte de toda a produção. Isto facilita também a separação dos frascos na fase de saborização, quando forem utilizados sabores diferentes.
- Integração da produção de kombucha com a produção de outras mercadorias que exijam os mesmos equipamentos e câmara fria, unificando as despesas de refrigeração, como por exemplo, a fabricação de cerveja;

- Venda do produto em varejo à pronto consumo, diminuindo os custos de envase e propiciando uma experiência mais agradável ao cliente, visto que o armazenamento em barris de metal e consumo do conteúdo diretamente da torneira mantêm a bebida fresca;
- Pesquisa de mercado: A venda do produto em eventos esportivos, parques e praias é mais bem-sucedida do que em festivais de música e shows noturnos, onde a mesma encontra resistência por ser uma alternativa de bebida “não alcoólica” na prática.
- Publicidade que visa abranger um público-alvo mais amplo, desgourmetizando e utilizando ingredientes não sejam luxuosos, mas que possam aguçar a curiosidade dos transeuntes, como manjeriço, gengibre, cupuaçu e pimenta-rosa adicionados a sabores já conhecidos pelas massas.

## **7 Conclusão**

Foi possível calcular a produção de uma planta de produção de 14.000 litros mensais de kombucha. Determinou-se a produção de 14.114,35 litros mensais, distribuída em 3 lotes de 4.704,75 litros. Obteve-se também a área de transferência de calor necessária para resfriar o chá que será alimentado no tanque de fermentação, o que retornou 21,81 metros quadrados a serem distribuídos em placas em um trocador de calor. Organizou-se em tópicos as operações unitárias envolvidas no descritivo do processo e por fim, esboçou-se o fluxograma de processo a ser implementado.

## Referências Bibliográficas

ACE MACHINERY. “**Equipo de fermentación de Kombucha**”. Disponível em: [https://es.ace-chn.com/Kombucha\\_Fermentation\\_Equipment.html](https://es.ace-chn.com/Kombucha_Fermentation_Equipment.html). Acesso em: Out. 2025;

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). Resolução RDC nº 18, de 19 de novembro de 1999. Diário Oficial [da] União, Poder Executivo, de 22 de novembro de 1999;

ARRUDA, E. F.; WALTER, E. H. M.; COSTA, L. E. O.; FRANCISQUINE, M. F. L. “**Elaboração de Kombucha e Orientações sobre Boas Práticas de Fabricação**”. Instituto Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2021;

BESTKVEIK. “**What temperature kills SCOBY?**” Disponível em: <https://bestkveik.com/glossario/what-temperature-kills-scooby-essential-brewing-guide/>. Acesso em: Out. 2025;

FARISCO, M. “**Kombucha: Estudo das Propriedades Funcionais e o Efeito das Redes Sociais na Informação sobre a Bebida**”. São Paulo. 2020;

GREENWALT, C.J; STEINKRAUS, K. H; LEDFORD, R. A. “**Kombucha, the Fermented Tea: Microbiology, Composition, and Claimed Health Effects**”. Journal of Food Protection, nº 7, Vol. 63. P. 976-981. International Department of Food Science, Cornell University, 2000;

JAYABALAN, Rasu; MALBASA, Radomir M; LONCAR, Eva S; VITAS, Jasmina S; SATHISHKUMAR, Muthuswamy. “**A Review on Kombucha Tea – Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus**”. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Vol. 13, p. 538-550. Institute of Food Technologies, 2014;

KAPP, Julie M.; SUMNER, Walton. “**Kombucha: A systematic review of the empirical evidence of human health benefit**”. Annals of Epidemiology 30. P. 66 70. 2019;

Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 41, DE 17 DE SETEMBRO DE 2019. Diário Oficial [da] União, Nº 181, quarta-feira, 18 de setembro de 2019;

MICET GROUP. “**Quanto custa iniciar uma fábrica de kombucha?**” Disponível em: <https://www.micetgroup.com/pt/how-much-does-it-cost-to-start-a-kombucha-brewery/>. Acesso em: Out. 2025;

OPENSTAX. **Free Biology 2e Textbook**. Disponível em: <https://openstax.org/details/books/biology-2e>. Acesso em: Out. 2025.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W. “**Perry’s Chemical Engineer’s Handbook**”. Editora: McGraw-Hill. 1ª ed. Nova Iorque. 1934.

SANWAL, N. GUPTA, A. BAREEN, M. A. SHARMA, N. SAHU, J. K. “**Kombucha fermentation: Recent trends in process dynamics, functional bioactivities, toxicity**”

**management, and potential applications**". Food Chemistry Advances. Vol. 3. December 2023. 100421;

SCIENCE. "**Diferenças entre células bacterianas e células de levedura?**". Disponível em: <https://pt.scienceaq.com/Biology/1004253371.html>. Acesso em: Out. 2025;

SU, J. TAN, Q. TANG, Q. TONG, Z. YANG, M. "**Research Progress on Alternative Kombucha Substrate Transformation and the Resulting Active Components**". Front. Microbiol. Vol 14. 2023.

TRAN, T. GRANDVALET, C. VERDIER, F. MARTIN, A. ALEXANDRE, H. TOURDOT-MARÉCHAL, R. "**Microbiological and technological parameters impacting the chemical composition and sensory quality of kombucha**". Comprehensive Reviews on Food Science and Food Safety. Jun, 2020.

VIEIRA, C. "**Equipamentos para Controlar a Temperatura Ideal na Fermentação de Kombucha**". Dez. 2024. Disponível em: [Equipamentos para Controlar a Temperatura Ideal na Fermentação de Kombucha - Global vibe4](#). Acesso em: Out. 2025;