

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
**ALEXANDRE DE MAGALHÃES CARNEIRO DA SILVA**

ANÁLISE DO PROJETO E DOS PROCESSOS DE UM ENGENHO DE CACHAÇA  
ARTESANAL: UM ESTUDO DE CASO ACERCA DA TRANSIÇÃO PARA UM  
MODELO DE NEGÓCIO CIRCULAR.

MACAÉ - RJ  
2023

**ALEXANDRE DE MAGALHÃES CARNEIRO DA SILVA**

**ANÁLISE DO PROJETO E DOS PROCESSOS DE UM ENGENHO DE CACHAÇA  
ARTESANAL: UM ESTUDO DE CASO ACERCA DA TRANSIÇÃO PARA UM  
MODELO DE NEGÓCIO CIRCULAR.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Macaé como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Civil, sob a orientação do Prof. D.Sc. Thiago Gomes de Lima

MACAÉ - RJ  
2023

## CIP - Catalogação na Publicação

S586

Silva, Alexandre Magalhães Carneiro da

Análise do projeto e dos processos de um engenho de cachaça artesanal: um estudo de caso acerca da transição para um modelo de negócio circular / Alexandre Magalhães Carneiro da Silva - Macaé, 2023.

105 f.

Orientador(a): Thiago Gomes de Lima.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia Civil, 2023.

1. Cachaça. 2. Concreto pré-moldado. 3. Economia circular.  
I. Lima, Thiago Gomes de, orient. II. Título.

CDD 624

ALEXANDRE DE MAGALHÃES CARNEIRO DA SILVA

ANÁLISE DO PROJETO E DOS PROCESSOS DE UM ENGENHO DE CACHAÇA  
ARTESANAL: UM ESTUDO DE CASO ACERCA DA TRANSIÇÃO PARA UM  
MODELO DE NEGÓCIO CIRCULAR.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Macaé como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. D.Sc Thiago Gomes de Lima.

Aprovado em: 28 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Thiago Gomes de Lima, D.Sc

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

---

Conrado Vidotte Plaza, Ms

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

---

Gisele Silva Barbosa, D.Sc

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Macaé – RJ

2023

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar agradecendo a Deus por sempre me iluminar e abençoar, me permitindo realizar esse sonho.

Agradeço ao meu pai e a minha mãe, Haroldo e Mariza, que são minhas maiores inspirações de pessoas. Graças a todo apoio, ensinamentos e conselhos, pude crescer, evoluir e chegar até aqui. Aos meus irmãos, Sophia e Renato, os quais posso contar para tudo, em todos os momentos da minha vida. Vocês são muito importantes para mim.

Ao meu padrinho Gustavo e minha tia Virgínia, que me receberam em sua casa com muito amor e carinho, fazendo o papel de pai e mãe num momento novo e importante para minha vida. Graças ao acolhimento e suporte proporcionado, consegui passar no vestibular para uma das melhores universidades do país. Agradeço a minha madrinha Marisa, que não mede esforços para me apoiar em todos os momentos da minha vida, sendo uma de minhas maiores conselheiras.

A minha melhor amiga Natália, por ser a pessoa que me acompanha e apoia em todos os momentos, me ensinando a ser uma pessoa melhor e mais dedicada todos os dias. Com você, dividi os momentos mais difíceis e felizes da faculdade, sempre sendo a que mais torceu por mim e me apoiou durante esse período. Não tenho palavras para agradecer por toda ajuda.

Ao amigo Filipe, que me acompanha desde a infância, me ajudando e torcendo por mim. Serei eternamente grato por todo acolhimento proporcionado por você e sua família, desde os tempos de ensino médio, mas principalmente durante a faculdade. Aos amigos Fernando, José Roberto e João Pedro, que dividiram a moradia comigo nesse período tão importante, sempre proporcionando muita alegria e parceria, tornando a faculdade mais leve. Vocês são verdadeiros irmãos para mim.

As minhas amigas Letícia, Mariane e Kamilla, companheiras da Engenharia Civil, que sempre estiveram juntas e auxiliaram nos períodos de provas e trabalhos, mas também nos momentos de diversão. Aos amigos de Quissamã e Macaé, que me acompanham por muito tempo, me acolhendo e ajudando de diferentes maneiras, principalmente proporcionando momentos de alegria e felicidades que aliviaram toda pressão que o ambiente universitário proporciona.

A todo corpo docente da Engenharia Civil que me acompanhou por toda graduação transmitindo com maestria seus conhecimentos, me inspirando a ser um profissional cada vez melhor. Ao meu orientador Thiago Gomes, que aceitou o convite para me auxiliar neste

trabalho, sempre muito solícito e prestativo, contribuindo para minha evolução e estimulando minhas ideias.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram na minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

## RESUMO

A cachaça é uma bebida genuinamente brasileira, produzida em engenhos com processos produtivos que geram resíduos e podem afetar o meio ambiente. Este trabalho analisa a produção de um engenho de cachaça artesanal, propondo um modelo de negócio circular. Realizou-se um estudo de caso abordando o Engenho São Miguel (ESM) em Quissamã-RJ, detalhando sua organização, produtos e clientes. Foram apresentados resultados em quatro partes: projeto do engenho, processo produtivo, atividades de economia circular já adotadas e propostas de modelagem circular. Observou-se que a estrutura em galpão de concreto pré-moldado utilizado na fábrica possibilitou a conclusão da obra dentro do prazo e custos esperados, gerando menos entulhos. A planta baixa e os acabamentos da fábrica facilitam o fluxo de produção. Além disso, a fábrica utiliza diversas ações circulares em algumas etapas da produção que reduzem desperdícios e aumentam a eficiência. No entanto, existem resíduos que não são reaproveitados, como o bagaço excedente e as garrafas enviadas aos clientes, e ações circulares não exploradas, como o uso de energias renováveis. Propõe-se a abertura de uma trincheira para receber o bagaço excedente junto com a vinhaça, formando adubo orgânico para o plantio da cana. Também se sugere a implementação de logística reversa para reaproveitar as garrafas, seguindo esquemas utilizados por cervejarias. Por fim, propõe-se a implantação de um sistema de geração de energia solar para atender a fábrica, visando reduzir impactos negativos ao meio ambiente, aumentar a eficiência do processo produtivo e gerar economias à empresa.

**Palavras Chaves:** Cachaça Artesanal; Concreto pré-moldado; Economia Circular; Modelo de Negócio Circular; Processo produtivo; Projeto de Engenho

## ABSTRACT

Cachaça is a genuinely Brazilian drink, produced in mills with production processes that generate waste and can affect the environment. This work analyzes the production of native cachaça, proposing a circular business model. A case study was carried out addressing Engenho São Miguel (ESM) in Quissamã-RJ, detailing its organization, products and customers. Results were presented in four parts: design, production process, circular economy activities already adopted and proposals for circular modeling. It was observed that the precast concrete shed structure used in the factory enabled the completion of the work within the expected timeframe and costs, generating less debris. The floor plan and factory finishes facilitate the production flow. In addition, the factory uses several circular actions in some stages of production that reduce waste and increase efficiency. However, there are residues that are not reused, such as spent bagasse and bottles sent to customers, and circular actions that are not explored, such as the use of renewable energies. It is proposed to open a area to receive the surplus bagasse together with the vinasse, forming organic fertilizer for planting sugarcane. It is also suggested the implementation of reverse logistics to reuse the bottles, following schemes used by breweries. Finally, it is proposed the implementation of a solar energy generation system to serve the factory, aiming to reduce negative impacts on the environment, increase the efficiency of the production process and generate savings for the company.

**Keywords:** Artisanal Cachaça; Precast concrete; Circular Economy; Circular Business Model; Production process; Engineering Project

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Scanner de Estratégias Circulares	28
Figura 2 – Quadro do modelo de Negócio da Economia Circular	29
Figura 3 – Fluxograma da produção da cachaça	35
Figura 4 – Ilustração de um engenho produtor de açúcar e cachaça do século XVII	44
Figura 5 – Planta baixa modelo para engenhos produtores de cachaça	45
Figura 6 – Componentes de estrutura em esqueleto	48
Figura 7 – Pilares engastados na fundação e viga articulada nos pilares	50
Figura 8 – Pilares engastados na fundação e a viga engastada nos pilares	50
Figura 9 – Pilares engastados na fundação e dois elementos de cobertura articulados	51
Figura 10 – Com ligação rígida entre pilares e elementos de cobertura	51
Figura 11 – Arranjos construtivos de elementos de eixo reto	52
Figura 12 – Exemplos de fechamentos laterais	53
Figura 13 – Exemplos de telhas em coberturas de galpões	53
Figura 14 – Efeito de pino	54
Figura 15 – Ligação viga-pilar	55
Figura 16 – Ligação viga-viga	55
Figura 17 – Ligação em cálice, ligação com chumbadores grauteados e ligação parafusada, respectivamente	56
Figura 18 – Montagem de galpões de concreto pré-moldado	58
Figura 19 – Organograma da Empresa	65
Figura 20 – Fachada principal do Engenho São Miguel	68
Figura 21 – Torre do Engenho São Miguel	68
Figura 22 – Fachada principal Engenho Central de Quissamã	69
Figura 23 – Estrutura do galpão utilizado no ESM	69
Figura 24 – Corte da estrutura do galpão do Engenho São Miguel	71
Figura 25 – Planta baixa da fábrica	72
Figura 26 – Planta baixa moenda e caldeira	73
Figura 27 – Sala de produção de açúcar	74
Figura 28 – Sala de fermentação	74
Figura 29 – Vista aérea do Engenho São Miguel	75
Figura 30 – Moenda do Engenho São Miguel	77

Figura 31 – Dornas de fermentação do caldo da cana	78
Figura 32 – Alambique, pré-aquecedor e tanque de resfriamento do ESM	79
Figura 33 – Sala de envelhecimento da cachaça	80
Figura 34 – Envasadora de cachaça	81
Figura 35 – Fluxo de Produção do Engenho São Miguel	86

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Registro de Estabelecimentos Produtores de Cachaça por UF, 2021	32
Gráfico 2 – Principais Países de Destino em Volume, 2022	33
Gráfico 3 – Principais Países de Destino em Valor, 2022.	33

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Exemplos práticos de estratégias circulares	23
Quadro 2 – Parte interessada x benefícios dos modelos de negócios circulares	26
Quadro 3 – Scanner de Estratégias Circulares do Engenho São Miguel	87
Quadro 4 – Matriz SWOT	88
Quadro 5 – Modelo de Negócio da Economia Circular do Engenho São Miguel	89

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2 OBJETIVO GERAL.....	17
<b>1.2.1 Objetivos Específicos</b> .....	17
1.3 JUSTIFICATIVA .....	17
1.4 MOTIVAÇÃO PESSOAL .....	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	21
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO - ECONOMIA LINEAR E ECONOMIA CIRCULAR .....	21
2.2 MODELOS DE NEGÓCIOS CIRCULAR .....	23
<b>2.2.1 Metodologia para modelagem de negócios circulares</b> .....	25
2.2.1.1 Ferramentas para modelagem de negócios circulares .....	28
2.3 PRODUÇÃO DE CACHAÇA ARTESANAL .....	30
<b>2.3.1 Mercado de cachaça artesanal</b> .....	30
<b>2.3.2 Processo de produção da cachaça</b> .....	34
<b>2.3.3 Processo produtivo da cachaça artesanal e a economia circular</b> .....	39
2.4 PROJETOS DE ENGENHOS .....	41
<b>2.4.1 Contextualização histórica da construção dos engenhos</b> .....	41
<b>2.4.2 Estruturas de concreto pré-moldado</b> .....	46
<b>2.4.3 Os galpões de concreto pré-moldado</b> .....	47
<b>2.4.4 Os sistemas estruturais em concreto pré-moldado para galpões</b> .....	49
2.4.4.1 Sistemas estruturais com elementos de eixo reto .....	49
2.4.4.2 Ligações entre estruturas de concreto pré-moldado .....	54
2.4.4.3 Atividades envolvidas na fabricação de concretos pré-moldados .....	56
2.4.4.4 Vantagens e desvantagens do uso de concreto pré-moldado.....	58
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	61
3.1 ESTUDO DE CASO .....	61
3.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA.....	62
<b>3.2.1 História e organização do Engenho São Miguel</b> .....	62
<b>3.2.2 Tipos de produtos e serviços</b> .....	63
<b>3.2.3 A organização da empresa</b> .....	65
<b>3.2.4 Perfil dos clientes</b> .....	66

<b>4 RESULTADOS</b> .....	67
4.1 O PROJETO DO ENGENHO .....	67
<b>4.1.1 Análise da estrutura do ESM</b> .....	70
<b>4.1.2 Análise da planta baixa do ESM</b> .....	71
4.2 O PROCESSO PRODUTIVO DA CACHAÇA NO ENGENHO SÃO MIGUEL .....	75
4.3 ESM E ECONOMIA CIRCULAR.....	82
4.4 MODELO DE NEGÓCIOS CIRCULARES: PROPOSTA PARA O ESM .....	86
<b>4.4.1 Identificação de atividades circulares</b> .....	87
<b>4.4.2 Proposta do Modelo de Negócio Circular para o ESM</b> .....	89
<b>4.4.3 Plano da Gestão de Impacto para a proposta</b> .....	92
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	93
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	96
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	99
<b>APÊNDICES</b> .....	104
APÊNDICE A .....	104
APÊNDICE B.....	105

## 1 INTRODUÇÃO

Nesta seção será apresentada uma breve contextualização da produção de cachaça no Brasil, abordando a história, o alcance no mercado e a produção dessa bebida. Além disso, serão contextualizados os conceitos de economia circular, destacando brevemente estudos desse conceito relacionados a produção de bebidas artesanais, como cervejas e cachaça. Após isso, serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho, bem como sua justificativa. Por fim, serão apresentadas a motivação pessoal e a estrutura do trabalho.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A cachaça é uma bebida brasileira descoberta no século XVI pelos escravos dos engenhos de açúcar, produzida a partir da fermentação e destilação do melaço da cana de açúcar. Sua popularização ao longo dos anos fez com que esta se tornasse o destilado mais consumido no Brasil e o terceiro mais consumido do mundo (EMBRAPA, 2022). Segundo dados do Instituto Brasileiro da Cachaça (IBRAC), no ano de 2022, mais de 9 milhões de litros de cachaça foram exportados para 76 países, gerando uma receita de US\$20,80 milhões. Os principais países de destino foram: Estados Unidos, Alemanha, Portugal, França e Itália.

No Brasil, estima-se que cerca de 800 milhões de litros de cachaça são produzidos por ano, e que o setor gera mais de 600 mil empregos (IBRAC, 2022). Segundo o Anuário da Cachaça de 2021, divulgado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em 2022, no país existem 936 estabelecimentos produtores de cachaça e 609 municípios contam com, pelo menos, uma cachaçaria registrada, sendo a região Sudeste a que possui o maior número (620). Os principais estados produtores de cachaça são: São Paulo, Pernambuco, Ceará e Minas Gerais, e os principais consumidores são São Paulo, Pernambuco, Rio de Janeiro e Ceará (IBRAC, 2022).

O estado do Rio de Janeiro, não só é um importante produtor e consumidor da bebida brasileira, como possui relação histórica com ela. No século XVII, a cachaça já vinha fazendo sucesso no país, o que fez a venda dos vinhos portugueses diminuírem. Por conta disso, o governador do Rio decidiu proibir a fabricação e comércio da bebida no estado, o que gerou grande descontentamento social. Conseqüentemente surgiu o movimento conhecido como Revolta da Cachaça que acabou derrubando o governo interino de Thomé Corrêa de Alvarenga (FREITAS, 1988). Atualmente, o estado é o quinto com o maior número de engenhos produtores de cachaça, contando com 60 estabelecimentos, sendo Paraty com 6, e

Nova Friburgo com 5, os municípios com maior número de engenhos produtores de cachaça (BRASIL, 2022).

É importante destacar que nos números demonstrados estão contabilizados dois tipos de cachaça que possuem métodos produtivos diferentes: o artesanal e o industrial. Enquanto a cachaça artesanal possui destilação feita através de alambique, a industrial utiliza coluna de aço inoxidável (VOLPE, 2013). No primeiro sistema de destilação, ocorre a divisão do destilado em partes que possuem composição e teor alcoólicos diferenciados, conhecidas como cabeça, coração e cauda, enquanto no método com coluna de aço, essa separação não ocorre (RODRIGUES *et al.*, 2019).

O sistema de produção artesanal possui ainda dois processos de fabricação diferentes: o tradicional e o modernizante. No primeiro, destacam-se pequenos e médios produtores independentes, que possuem forte identificação com as regiões onde são produzidas e utilizam diversos processos de produção (SOUZA & VALE, 2004 apud DE OLIVEIRA; DE BRITO, 2019). Já no segundo método de fabricação, há uma preocupação maior com as estratégias de mercado e o controle de qualidade (COUTINHO, 2001 apud FARIAS *et. Al*, 2020).

Diante disso, avalia-se a implementação de conceitos da economia circular no processo artesanal modernizante. Estes conceitos estão totalmente relacionados com a sustentabilidade, buscando uma maior eficiência no uso dos bens, a fim de utilizar resíduos como recursos para um processo de produção fechado (CIRCULAR, FUNDACIÓN ECONOMÍA, 2017).

Leitão (2015) destaca a importância de se pensar no modelo de Economia Circular, visto que o modelo linear vigente está ameaçado por conta da disponibilidade cada vez mais limitada dos recursos naturais. Além disso, a autora afirma que a Economia Circular não só estimula novas práticas de gestão, a inovação dos produtos nos processos e nos modelos de negócio, como também, permite a redução da demanda de recursos naturais, já que se preocupa em evitar desperdícios e recuperar resíduos. Dessa forma, este novo modelo incentiva empresas a adotarem métodos sustentáveis no processo produtivo, motivando o crescimento com bases sólidas e trazendo vantagens competitivas num mercado dinâmico e global.

Dado a importância dessa temática, diversos autores têm desenvolvido estudos acerca do universo das bebidas artesanais. Gruba (2020) desenvolveu um estudo intitulado “Economia circular em cervejarias artesanais: um estudo de caso à luz da transição para a sustentabilidade do sistema sociotécnico”. Nesta pesquisa, a autora teve como objetivo entender as características da economia circular que tornam a cadeia produtiva de cervejas

artesanais mais sustentável. Para isso, a autora realizou uma revisão de literatura sobre a evolução em conjunto entre sistema sociotécnico, economia circular e sustentabilidade. Além disso, realizou-se pesquisa de campo em cervejarias do município de Guarapuava-PR, onde 11 entrevistas foram feitas e 74 documentos nacionais foram analisados. Os resultados mostraram que a sustentabilidade propõe aplicar os 6Rs (reutilização, reciclagem, redesenho, remanufatura, redução e recuperação) no sistema como um todo, induzindo mudanças da produção ao consumo, através de um modelo regenerativo, em movimento co evolutivo e simultâneo. Além disso, percebeu-se que os conceitos de economia circular resultam na coevolução com o sistema sociotécnico, uma vez que se identificou normas que levam o funcionamento dessas cervejarias, buscando a otimização de recursos e o descarte correto. Por fim, concluiu-se que o setor de cervejas artesanais, mesmo sendo um sistema ainda novo, está no caminho da transição para a sustentabilidade.

Mais especificamente sobre sustentabilidade no setor de produção das cachaças artesanais, muitos autores também vêm desenvolvendo estudos acerca deste tema. Ramos e Gonçalves (2018) desenvolveram o artigo “Produção sustentável de cachaça artesanal”, que busca descrever o processo produtivo da cachaça por meio da aplicação da ferramenta Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Os autores analisaram o setor agrícola e observaram a cadeia de produção do Alambique Artesanal “Pinga dos Ramos”, localizado em Tatuí-SP. Dessa forma, aplicou-se o método de Produção Mais Limpa (P+L), a fim de eliminar a poluição durante o processo de produção. Por fim, os autores chegaram à conclusão que o engenho estudado busca ser sustentável em seu processo de produção, mas que existem possibilidades de melhorias, como a conversão do sistema produtivo para o sistema orgânico de produção.

Farias e Silva (2020), desenvolveram um estudo relacionando conceitos da economia circular com a produção de cachaça artesanal. O artigo intitulado “Os princípios da economia circular e a produção de cachaça orgânica” teve como objetivo analisar se o sistema de produção adotado pela cachaçaria pernambucana atende os conceitos da economia circular. Para isso, as autoras destacam a pesquisa como exploratória e descritiva, realizando um estudo de caso. Neste trabalho, conclui-se que a cachaçaria estudada utilizava em seu processo de produção princípios da economia circular, uma vez que, entre outros aspectos, utilizam energia de fontes renováveis, preocupando-se com a eliminação do desperdício e com a maximização da matéria prima.

Frente aos fatos, o presente trabalho de conclusão de curso pretende explorar o contexto dos engenhos produtores de cachaça, os modelos de produção e as estratégias para

desenvolver um modelo de negócio circular desde a concepção do engenho, entrega dos produtos aos clientes e a gestão de resíduos. Assim, será realizado um estudo de caso num engenho em Quissamã – RJ, a fim de analisar seu modelo de produção e propor melhorias que o tornem mais sustentável.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo analisar os processos de produção de um engenho produtor de cachaça, considerando o modelo de produção vigente e as estratégias para desenvolver um modelo de negócio circular, desde a concepção do engenho, entrega dos produtos aos clientes e a gestão de resíduos.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Contextualizar o modelo de economia linear e circular, bem como, o modelo de negócios circulares com ênfase no mercado de cachaça artesanal;
- Contextualizar o mercado de cachaça no Brasil;
- Levantar os modelos de Engenhos, projetos de Engenho de cachaça, processo produtivo das cachaçarias e o fluxo de serviços nos engenhos de cachaça;
- Apresentar um estudo de caso de forma detalhada contemplando o modelo de negócios de um engenho, considerando desde o projeto e estrutura da fábrica, até o processo produtivo e o fluxo operacional.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho busca analisar os processos de implantação de um engenho de cachaça artesanal, baseado no modelo de negócio linear, com vista a transição para um modelo de negócio circular. Portanto, considera-se importante observar todo o processo produtivo, os resíduos gerados em cada uma das etapas e propor maneiras de reutilizá-los, a fim de tornar o processo mais sustentável.

Segundo Foster, Roberto e Igari (2016), após a Revolução Industrial, a produtividade e o volume de bens de consumo produzidos aumentaram significativamente, intensificando os impactos do processo produtivo no meio ambiente. Os autores destacam que o modelo de produção predominante desde então, é o linear no qual a matéria prima é extraída para a

produção de um bem que é consumido e em seguida descartado. Conseqüentemente, resíduos e rejeitos são gerados, aumentando a extração de recursos naturais, causando prejuízos ao meio ambiente.

Porém, com a diminuição da oferta de recursos naturais, bem como o aumento nos índices de poluição, passou-se a pensar na implementação de alternativas socioambientais nos modelos de negócio e produção, a fim de aumentar o ciclo de vida dos recursos e transformar a economia linear em circular (BERARDI; DIAS, 2018). A economia circular busca manter produtos, componentes e materiais em seus mais altos níveis de uso. Portanto, esse modelo é restaurativo e regenerativo, no qual o ciclo de desenvolvimento se torna contínuo, preserva o capital natural, além de otimizar o retorno sobre os recursos, o que faz deste um modelo eficaz (CERDÁ; KHALILOVA, 2016). Diante desse cenário, analisa-se os engenhos de cachaça e seus processos produtivos.

A cana de açúcar fez parte dos primeiros ciclos econômicos do Brasil colonial, já que o açúcar, produzido nos engenhos, era o principal produto de exportação do Brasil. Nesse contexto, surgiu a cachaça, o destilado mais antigo das Américas, que atualmente é a segunda bebida alcoólica mais consumida no Brasil (GERK, *et. Al.*, 2022). Esta bebida produzida nos engenhos possui teor alcoólico de 38% a 48%, tendo como matéria prima o mosto fermentado do caldo da cana de açúcar (IBRAC, 2022).

Schoeninger, Coelho; Silochi (2014) destacam que devido ao aumento da demanda por bebidas de qualidade, são necessários cuidados durante todo o processo produtivo. Esses envolvem desde o cultivo, corte e armazenamento da cana, até a moagem, fermentação, destilação, armazenamento e envelhecimento, havendo então, o desafio de buscar técnicas produtivas eficientes que alavanquem esse setor e propiciem um produto com mais qualidade.

Para Lima *et. Al.* (2014), o processo produtivo da cachaça pode causar impactos negativos ao meio ambiente. Devido a isso, as autoras destacam a importância dos produtores da bebida se preocuparem em adotar métodos que alavanquem a produção com ganhos econômicos, alinhados a preservação ambiental e o bem estar social. Para isso, avalia-se a redução ao máximo, ou até mesmo eliminação, dos resíduos e desperdícios gerados durante o processo, que possibilitem uma produção mais limpa e sustentável.

Sendo assim, percebe-se que a produção de cachaça envolve etapas que geram resíduos e desperdícios, fortalecendo, portanto, a necessidade de se aprofundar no processo de concepção do engenho, nos processos produtivos e suas perdas, visando levantar quais são as oportunidades de mudanças tomando como base os conceitos de economia circular, e

finalmente propor um modelo de produção eficiente e fechado, que traga benefícios ambientais, produtivos, qualitativos e, conseqüentemente, econômicos.

#### 1.4 MOTIVAÇÃO PESSOAL

Fazer graduação em Engenharia sempre foi um sonho, devido a relação do meu pai e tios com a profissão. Passar para uma universidade de relevância nacional como a Universidade Federal do Rio de Janeiro foi motivo de muito orgulho para mim e familiares. Para encerrar esse ciclo, resolvi aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso na empresa do meu pai, com o objetivo de fazer um Trabalho de Conclusão de Curso relevante, e que traga benefícios para este negócio.

Sou de Quissamã, cidade do interior do Rio de Janeiro, que possui fortes relações históricas com o cultivo da cana de açúcar. Nesta cidade que foi inaugurado o primeiro Engenho Central da América Latina, e devido a essa grande influência, minha família produz cana há 8 gerações. Com o fechamento das portas do Engenho em 2002, foi se tornando cada vez mais inviável produzir cana em Quissamã e transportá-la para outras cidades vizinhas.

Diante desse cenário, após alguns anos meu pai resolveu fazer o próprio Engenho, que foi inaugurado em 2010. Nele eram produzidos melado, açúcar mascavo e cachaça, mas com o decorrer dos anos o foco da produção ficou na bebida brasileira. A experiência no cultivo da cana, as condições do solo e climáticas da região, a capacitação dos profissionais e os cuidados na produção levaram a resultados produtivos e econômicos crescentes, além da conquista de prêmios relevantes.

Porém, mesmo com alguns resultados positivos, é notório que alguns processos podem ser aperfeiçoados com o objetivo de tornar a produção mais eficiente e limpa. A graduação em Engenharia me fez perceber cada vez mais que deve se haver uma preocupação maior com o meio ambiente, bem como, buscar uma produção mais sustentável possível, que seja capaz de gerar resultados positivos não apenas para o produto, mas para o próprio negócio e a sociedade como um todo, com preocupações especiais no que tange às questões ambientais.

Por sempre me interessar em matérias relacionadas à sustentabilidade nos processos produtivos, decidi estudar mais profundamente esses conceitos e analisar os processos de produção do engenho em questão, para identificar possíveis melhorias e os conseqüentes benefícios para o negócio. Dessa forma, entendo que esse trabalho além de proporcionar um maior aprendizado sobre economia circular, processos produtivos e produção de cachaça,

resultará, também, em benefícios para o engenho da minha família, onde poderei observar de perto a aplicação desses conceitos.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Na parte 1 foi apresentada a introdução, que foi composta pela contextualização, objetivos, justificativa e a motivação pessoal para o desenvolvimento deste trabalho. Na parte 2 será contextualizado o referencial teórico, englobando a contextualização da economia circular e da economia linear, os modelos de negócios circulares, a produção de cachaça artesanal e os projetos de engenhos. Na parte 3 serão descritos os procedimentos metodológicos. Na parte 4 serão apresentados os resultados. Na parte 5 a discussão dos resultados e por fim a conclusão do trabalho e as respectivas referências utilizadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão contextualizados os conceitos de economia linear e economia circular, bem como os modelos de negócios circulares e métodos para implantação desse modelo. Após isso, será apresentada a produção de cachaça artesanal, contextualizando o mercado de cachaça, o processo produtivo, bem como as atividades circulares presentes no fluxo de produção. Por fim, será feita uma análise sobre projetos de engenho, contextualizando a história dessas fábricas, as estruturas usualmente utilizadas nesse setor, bem como uma planta baixa modelo e acabamentos indicados.

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO - ECONOMIA LINEAR E ECONOMIA CIRCULAR

Durante muito tempo, a economia a nível mundial representou uma fração pequena quando comparada ao ecossistema global, o que fez com que houvesse o pensamento de que uma produção ilimitada parecesse possível. Porém, após a Segunda Guerra Mundial a proporção da ocupação humana no ecossistema global aumentou consideravelmente, até chegar ao ponto em que em 2010 as necessidades globais ultrapassassem em mais de 50% a capacidade regenerativa da Terra (BONVIU, 2014).

O principal responsável por este cenário é o modelo de economia linear vigente, baseado na ideia de extrair os recursos necessários, produzir a mercadoria para vender e lucrar, e por último descartar o que não for utilizado (SARIATLI, 2017). Isso faz com que esse modelo supere a capacidade de extração, absorção de resíduos e emissões do planeta (SUÁREZ-EIROA, BRAIS *et al.*, 2019).

O 5º Guia de Boas Práticas de Economia Circular e Sustentabilidade (2021), desenvolvido pela Astrolábio – Orientação e Estratégia, S.A, destaca que esse modelo de economia tem sido predominante desde a terceira revolução industrial, e que tem gerado crescimento e prosperidade em muitas partes do mundo. Entretanto, é nesta forma de economia que a maximização do valor de produtos depende da maior extração dos recursos, o que o torna cada vez mais inviável, tendo como principais desvantagens os seguintes fatores:

- a. Incerteza sobre a disponibilidade dos recursos do planeta para a continuidade de uma economia linear.
- b. Empresas por todo o mundo são dependentes da extração das matérias-primas necessárias.

- c. Impacto negativo no ambiente, a extração e utilização destas matérias-primas aumentam o consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub>.
- d. Volatilidade dos preços, a flutuação das commodities (produtos de base em estado bruto) que não são diferenciados de acordo com quem os produziu ou da sua origem. O seu preço é determinado pela oferta e procura, o que pode levar ao aumento dos preços médios, prejudicando não só os produtores como os consumidores.

Diante deste cenário, surge como alternativa a Economia Circular, que propõe a implementação de um novo sistema de processo produtivo, assumindo modificações estruturais e um maior protagonismo em relação ao modelo linear (ABDALLA E SAMPAIO, 2018). Geissdoerfer *et. al* (2020), destacam que um sistema de economia circular busca modelos que possibilitem a utilização do mínimo de recursos pelo maior tempo possível, objetivando o máximo de valor no processo.

Acerca dos objetivos da economia circular, Suárez-Eiroa *et. al* (2019) afirmam que a economia circular possui três objetivos principais: minimizar entradas de matérias primas e saídas de resíduos, manter o máximo de valor do recurso pelo maior tempo possível, e reintegrar produtos em processos ao fim de sua vida útil. Para Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018) a Economia Circular passa pela redução ou eliminação de entradas de recursos não renováveis, além do ajuste da taxa de extração de recursos renováveis a valores que respeitem os limites planetários. A intensificação do uso de energias renováveis, por exemplo, apresenta-se como uma possibilidade essencial de reduzir insumos do sistema que trazem consequências externas negativas (BONVIU, 2014).

Sobre os objetivos econômicos da economia circular, Korhonen, Honkasalo e Seppälä (2018) afirmam que este deve envolver desde a redução de custos de matéria prima e desperdícios até inovações de novos designs de produtos e oportunidades para negócios. Essas perspectivas abrangem diversas possibilidades no modelo de Economia Circular, no qual produtos podem ser projetados para serem facilmente reutilizados, recuperados, reparados, reciclados, entre outras possibilidades (SUÁREZ-EIROA, BRAIS *et al.*, 2019). Portanto, muitas empresas vêm adotando estratégias circulares interessantes, como demonstrado no Quadro 1.

**Quadro 1 - Exemplos práticos de estratégias circulares**

Empresa	Iniciativa	Ações	Benefícios
Algramo	Projeto “Algramo”	A empresa vende seus produtos por grama, usando embalagens inteligentes e reutilizáveis, que são chamadas de “embalagens como uma carteira”, nas quais os consumidores adicionam dinheiro no aplicativo da startup para pagar por seus refis. (WESTBROOK E ANGUS, 2021)	Esse sistema diminui os custos com logística, reduz despesas com embalagens e evita desperdício dos alimentos, já que o cliente compra apenas a quantidade desejada. (ALGRAMO apud ABDALLA e SAMPAIO, 2018)
Renault	Nova forma de fornecer materiais	Fornecer materiais a partir da remanufatura ou reutilização (BERARDI E DIAS, 2018).	Essas práticas causaram impactos positivos na montadora de carros, como redução de 80% do consumo de energia, 88% do consumo de água, 92% de produtos químicos empregados, 70% de geração de resíduos e zerar o envio de resíduos para aterros. (BERARDI E DIAS, 2018)
A Ecover, da SC Johnson & Son	Detergente líquido para lavar louças, chamado “Too Good to Waste”	O detergente é concebido com restos de cervejas, utilizando frascos e tampas feitos de 100% e 50% de plásticos reciclados pós-consumo (WESTBROOK E ANGUS, 2021).	Segue os princípios da economia circular de reduzir os desperdícios, poupar recursos e eliminar a poluição (WESTBROOK E ANGUS, 2021).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante desses aspectos, a economia circular acaba assumindo também um objetivo social, através de uma economia compartilhada que pode contribuir para o aumento do emprego e uso eficiente de materiais. Para isso, apoia-se a ideia de grupos de pessoas que agregam valor ao serviço e compartilham produtos, em oposição aos indivíduos que apenas consomem produtos físicos de forma individual e sem considerar os aspectos relacionados a sustentabilidade (KORHONEN, HONKASALO, SEPPÄLÄ, 2018).

Neste sentido é de suma importância que as empresas desenvolvam modelos de negócios circulares e que sejam direcionadores para a transição de uma economia linear para um modelo econômico circular.

## 2.2 MODELOS DE NEGÓCIOS CIRCULAR

A noção de modelo de negócios circular é baseada nos conceitos de inovação do modelo de negócios e de economia circular (GEISSDOERFER *et. al.*, 2020). Na década de 1970 surgiu o conceito de modelo de negócios associado à modelagem de sistemas em tecnologia da informação (PIERONI; MCALOONE e PIGOSSO, 2019), porém, modelos dessa natureza começaram a ter notoriedade e a evoluir para sua interpretação moderna durante o *boom* da década de 1990 (WIRTZ *et al.*, 2010). Segundo Teece (2010), o Modelo de Negócios pode ser explicado como o desenho ou arquitetura dos mecanismos de criação, entrega e captura de valor.

Paralelamente a esses estudos, surgiu a noção de inovação do modelo de negócios que Geissdoerfer, Vladimirova e Evans (2018) definem como a conceituação e a implementação

de novos modelos de negócios, objetivando o desenvolvimento, a diversificação, a aquisição ou a transformação dos modelos de negócios. Recentemente, a inovação do modelo de negócios vem recebendo maior atenção em áreas específicas, como sustentabilidade e economia circular (PIERONI; MCALOONE e PIGOSSO, 2019). A inovação do modelo de negócios voltada para a sustentabilidade direciona princípios de sustentabilidade ao projeto do modelo de negócios, e adiciona complexidade ao processo de inovação do modelo de negócios convencional (PIERONI; MCALOONE; PIGOSSO, 2019). Dessa forma, modelos de negócios sustentáveis objetivam incorporar conceitos, princípios ou metas que busquem a sustentabilidade, e integrar a sustentabilidade na proposta de valor, atividades de entrega de valor e captura de valor (GEISSDOERFER, VLADIMIROVA e EVANS, 2018).

Com isso, a ideia de modelo de negócios sustentáveis passa a ser vista como uma fonte de vantagem competitiva (PORTER; KRAMER, 2011). Sobre essa abordagem, Boons e Lüdeke-Freund (2013) propõem três níveis de análise para a inovação de modelo de negócios voltados para a sustentabilidade: o organizacional que é focado em empresas individuais e suas atividades que agregam valor, o inter-organizacional que é focado no relacionamento entre empresas que criam e compartilham valores em conjunto e o societal, focado no relacionamento com outras organizações para produzir um valor social compartilhado.

Geissdoerfer, Vladimirova e Evans (2018), tem apontado que diversos autores descreveram diferentes subcategorias ou estratégias para modelo de negócios sustentáveis, dentre elas o modelo de negócios circulares. Geissdoerfer, *et al.* (2020) destaca que modelo de negócios circulares, são modelos de negócios que circulam, estendem, intensificam ou desmaterializam ciclos de material e energia, através de estratégias de ciclagem, alargamento, intensificação e desmaterialização, a fim de reduzir entrada de recursos, desperdício de resíduos e emissões indesejáveis. Sobre essas estratégias, os autores definem cada uma delas como:

- (1) Ciclagem traz a ideia de que materiais e energia são reaproveitados dentro do sistema, através da reutilização, remanufatura, recondicionamento e/ou reciclagem. Com isso, reduz-se custos de materiais e receitas adicionais de produtos/materiais em fim de uso.
- (2) O alargamento, ou extensão dos ciclos de recursos, incentiva a extensão da fase de uso do produto, através de design duradouro e atemporal, manutenção e reparo. Esta estratégia levou à redução da necessidade de produção de novos produtos.

(3) Intensificar os ciclos de recursos incentiva novas propostas de valor através de uma economia compartilhada, que trazem vantagens como redução do tempo ocioso e necessidade de produção de novos produtos.

(4) A desmaterialização aborda a ideia de que oferecer sistemas de serviços de produtos, em vez de produtos físicos que cumpram a mesma função para o usuário, reduziria o número de produtos feitos.

A partir desses conceitos, passou-se a pensar na inovação do modelo de negócios orientado para a circularidade. De acordo com Pieroni, Mcalooone e Pigosso (2019), isso ocorre quando princípios e as práticas da economia circular são utilizados como diretrizes para o design do modelo de negócios. Para Geistdoerfer, *et al.* (2020) a inovação do modelo de negócios circular pode ser viabilizada através de diferentes iniciativas, entre elas, cita-se quatro tipologias:

(1) Startups circulares: Estão relacionados à criação de novos modelos de negócios baseados em estratégias de economia circular fora de uma empresa existente.

(2) A diversificação do modelo de negócios circulares: Integra os novos modelos de negócios, com estratégias da economia circular, ao modelo de negócio já praticado na organização, incluindo também projetos conjuntos de inovação com outras organizações.

(3) A aquisição de modelo de negócios circular: Busca a fusão e aquisição de modelos de negócios que utilizam estratégias de economia circular em suas atividades.

(4) A transformação circular do modelo de negócios: Consiste em modificar o modelo de negócios existente para um que adote estratégias da economia circular

Portanto, a partir desses conceitos, observa-se como é importante a utilização de uma metodologia para modelagem de negócios circulares que forneça estratégias para sua aplicação, pontuando possíveis facilitadores e dificultadores, além dos benefícios gerados.

### **2.2.1 Metodologia para modelagem de negócios circulares**

Conforme demonstrado no tópico 2.2, aplicar um modelo de negócio circular pode trazer diversos benefícios para diferentes negócios, portanto é de suma importância levantar estratégias que viabilizem a implementação. Este trabalho utilizou o *Circular Economy*

*Business Modelling* como referência para tal abordagem conforme sugerido por Pieroni *et al.* (2020).

Os autores destacam que existem alguns pontos importantes sobre o tema e que vale analisá-los para se traçar as respectivas estratégias. Entre eles considera-se: avaliar se os clientes e o mercado estão prontos para mudanças, se existem motivadores ou barreiras que possam facilitar ou que podem dificultar as ações, se é necessário fazer novas parcerias para fornecimento ou se é mais vantajoso monitorar o produto em uso, entre outros fatores. Sendo assim, analisar essas questões é de grande importância para verificar os benefícios e as estratégias na implementação desse modelo.

Portanto, como o modelo de negócios circulares conta com diferentes partes envolvidas para a geração de valor, como clientes e fornecedores, é importante explorar os benefícios para os principais interessados. Segundo Pieroni *et al.* (2020), entre os stakeholders que possuem maior interesse estão os produtores, acionistas, os clientes e outros parceiros. Os benefícios que a implementação de um modelo de negócio circular pode trazer para cada um é apresentado no Quadro 2:

**Quadro 2 - Parte interessada x benefícios dos modelos de negócios circulares**

Parte Interessada	Benefícios
Produtores e acionistas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de receita com novos serviços e ofertas</li> <li>- Relacionamento de longo prazo com o cliente</li> <li>- Entrada em segmentos novos de mercado</li> <li>- Economia em matérias primas</li> <li>- Redução de consumo dos recursos</li> <li>- Geração de empregos</li> </ul>
Clientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução de preços</li> <li>- Acesso direto a novos lançamentos e atualizações</li> <li>- Conformidade com a legislação ambiental</li> <li>- Orçamento previsível</li> <li>- Riscos controlados</li> <li>- Aprendizado e experiência</li> </ul>
Outros parceiros (sociedade civil, administração pública, comunidade, <i>trade</i> , entre outras)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforço da marca</li> <li>- Maior visibilidade</li> <li>- Novas fontes de receitas e mercado</li> <li>- Novos empregos</li> <li>- Redução de impactos ambientais</li> <li>- Compartilhamento de riscos</li> <li>- Aprimoração da competitividade</li> </ul>

Fonte: *Circular Economy Business Modelling* (2020).

Neste sentido, o guia *Circular Economy Business Modelling* (2020) fornece diferentes estratégias para se aplicar nos modelos de negócios circulares, baseado em três estágios: senso, aproveitar e transformar.

Para o primeiro estágio é importante analisar quais tipos de modelos de negócios circulares se encaixam na empresa e explorar internamente e externamente os motivadores e as respectivas barreiras. Isso passa por um mapeamento de iniciativas circulares existentes e cabíveis no negócio (internamente), identificação das possíveis mudanças e análises críticas que podem influenciar no desenvolvimento da implementação desse modelo (externamente). Posteriormente, avalia-se as oportunidades identificadas e suas possíveis aplicações através de um modelo realista, levando em consideração o propósito da empresa e os conceitos de economia circular. Dessa forma, o primeiro estágio exige informações de diferentes setores da empresa, como compras, vendas, marketing, estratégia e desenvolvimento de negócios, serviços, operação e logística, jurídico, finanças, entre outros.

Para o segundo estágio, é necessário se basear no primeiro, com o objetivo de entender como o modelo de negócios circular funcionaria, desenvolvendo novas ideias, avaliando os conceitos viáveis e possibilidades de aprendizado. Para essa etapa, adota-se a perspectiva dos usuários finais nas fases pré, durante e pós uso. Assim, ao compreender as necessidades dos clientes e usuários finais, surgem-se ideias de novos produtos e serviços, reforçando os conceitos do estágio inicial.

Após obter uma visão mais precisa da proposta de valor, é possível detalhar os demais componentes do modelo de negócios, como criação de valor, entrega de valor e captura de valor. Dessa forma, torna-se possível explicar como a proposta de valor relacionada à economia circular será executada pela empresa e parceiros, observando a viabilidade e coerência das atividades propostas. Por fim, para aprimorar o conceito de modelo de negócios, é necessário considerar as perspectivas de economia e potencial de desacoplamento de recursos, meios de experimentação e se requer o envolvimento de uma nova rede de parceiros. De acordo com os resultados, pode se fazer necessário revisões da etapa 1 para aprimorar ainda mais o modelo e garantir sua viabilidade.

No terceiro estágio, contempla-se o desenvolvimento de novas habilidades e busca-se colocar em prática os projetos que vão contribuir para viabilizar a renovação organizacional, bem como, a ampliação do conceito do modelo de negócios circular selecionado. Para isso, é fundamental estabelecer metas claras para esta implementação, bem como criar procedimentos que auxiliem nos cenários de resistência à mudança, definir as funções de liderança necessárias e estabelecer um novo modelo de governança para colaboração. Por fim, é necessário desenvolver uma estrutura de monitoramento do desempenho do processo de implementação, com indicadores personalizados que permitam avaliar, revisar, aprimorar ou

diversificar os conceitos de modelo de negócio em questão. Para cada um dos três estágios citados, os autores definem ferramentas que possibilitam suas respectivas aplicações

2.2.1.1 Ferramentas para modelagem de negócios circulares

Portanto, cada estágio para aplicação dos modelos de negócios circulares conta uma diversidade de ferramentas que poderão ser utilizadas conforme a necessidade de cada organização. Para o primeiro estágio, é necessário buscar informações de como funciona o modelo de negócios vigente e analisar tipos de ações circulares que possam ser encaixadas na empresa. Para facilitar a visualização dessa abordagem, utiliza-se um quadro com diferentes estratégias circulares, como o demonstrado na Figura 1, e numa escala de 1 a 6, identifica-se, nos espaços na parte superior de cada bloco, até que ponto a empresa já implementa a respectiva estratégia.

Figura 1 - Scanner de Estratégias Circulares



Fonte: Circular Economy Business Modelling (2020), adaptado pelo autor.

Posteriormente, é necessário pensar nos pontos fortes e fracos do modelo de negócios existente e em possíveis desafios e aspectos impulsionadores para a implementação de negócios circulares, utilizando uma Matriz SWOT. Segundo Silva *et. al* (2011), a Matriz SWOT ajuda o gestor na tomada de decisões, já que esta é uma matriz que auxilia a esclarecer as forças e fraquezas, bem como as ameaças e oportunidades do negócio, levando em

consideração agentes internos e externos. Através da matriz, será possível traduzir as oportunidades em ideias, levantando os possíveis beneficiados com tais ações, propostas de valor que podem ser exploradas, entre outros. Indica-se analisar as diferentes ideias levantadas, avaliar as prioridades e pensar nas ações que serão levadas adiante.

No segundo estágio, o objetivo é entender como o novo modelo de negócios funcionará. Para isso é indicado refinar a proposta de valor através das informações obtidas na primeira fase, indicando quais clientes e usuários finais podem ser alcançados, priorizando as propostas que forem mais adequadas e promissoras. Dessa forma, indica-se listar os clientes e usuários finais, adicionar as experiências que terão com as propostas e avaliar os possíveis benefícios, para então estimar o potencial da geração de valor. Essa atividade permite detalhar os elementos do modelo de negócios, estimar seu potencial econômico e avaliar a redução do uso de recursos, entre outros. Indica-se a utilização de um quadro dinâmico, que liste os benefícios, explique a proposta de valor que será entregue, indique os clientes e usuários finais, quais serão os produtos oferecidos e seu respectivo design, além de outras informações, conforme a ordem demonstrada na Figura 2.

**Figura 2 - Quadro do modelo de Negócio da Economia Circular**

<b>Quadro do Modelo de Negócio da Economia Circular</b>					
<b>Criação de valor</b> 8 <b>Atividades e recursos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quais atividades ou recursos são necessários para entregar a proposta de valor enquanto permite a circularidade para o seu modelo de negócios?</li> <li>Você vai precisar de novos materiais e tecnologias renováveis ou recicláveis, recursos humanos, habilidades?</li> <li>Você precisará de um novo processo para lidar com manutenção pró-ativa, gerenciamento de dados e inventário, reforma ou remanufatura?</li> </ul>	<b>Rede</b> 9 <ul style="list-style-type: none"> <li>Principais parceiros e colaborações</li> <li>Quais parceiros ou colaborações você precisará? Provedores de serviços, investidores, provedores de infraestrutura para o fim de vida ou revendedores?</li> </ul>	<b>Benefícios sistêmicos</b> 1 <b>Para Economia Circular e Sustentabilidade</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quais resultados ou valores o modelo de negócios gerará a Economia Circular?</li> <li>Haverá também efeitos secundários para os aspectos Sociais?</li> </ul>	<b>Clientes e usuários finais</b> 3 <b>Segmentos-alvo e mercado</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quem são seus clientes e usuários finais?</li> </ul>	<b>Ofertas</b> 5 <b>Produtos e serviços</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quais são as combinações de produtos e serviços necessárias para entregar a proposta de valor?</li> </ul>	
	<b>Valor compartilhado</b> 10 <b>Benefícios para a rede</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>O que esses parceiros ou colaboradores esperariam receber ao ingressar no modelo de negócios?</li> <li>Quais benefícios o modelo de negócios poderia oferecer a eles?</li> </ul>	<b>Proposta de valor</b> 2 <b>O que os principais atores recebem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>O que você promete entregar para seus clientes e usuários finais que eles valorizam?</li> <li>E as promessas para outros atores-chave, por ex. fornecedores?</li> </ul>	<b>Valor Entregue</b> 4 <b>Benefícios para clientes e usuários</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Como a proposta de valor atenderá as necessidades e possibilitará benefícios para os clientes?</li> </ul>	<b>Entrega de valor</b> 7 <b>Canais e relacionamento com o cliente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Como o relacionamento com os clientes mudará - e.g. novos incentivos para que os clientes retornem produtos, contratos e acordos fora de uso?</li> </ul>	
<b>Estrutura de custos</b> 11 <b>Investimento ou despesas de capital (CAPEX) e custos operacionais (OPEX)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Construir e manter os recursos para a Economia Circular pode ser caro - como sua organização está prevendo os custos com esse modelo de negócios?</li> <li>Sua organização está planejando investir ou manter as atividades e necessidades mais atraentes? Ou talvez dividir alguns dos custos com a Rede?</li> </ul>		<b>Opções de financiamento</b> 12 <b>Restrições de fluxo de caixa e opções de financiamento externo para expansão</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>O lançamento e a expansão de modelos de negócios podem ser caros e exigem capital inicial para construir uma nova infraestrutura ou criar um estoque inicial de produtos para uma plataforma ou produtos como ofertas de serviços.</li> <li>Como sua organização pode acessar as opções de financiamento? Fontes externas estão disponíveis?</li> </ul>		<b>Fontes de receita</b> 6 <b>Mecanismos de receita e preços</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Como você coletará receita de uma parte maior do ciclo de vida? Através de assinaturas? Pagamento por uso? Taxas de serviço mensais? Taxas de desempenho acordadas?</li> </ul>	

Fonte: Circular Economy Business Modelling (2020), adaptado pelo autor.

Após conceituar o novo modelo de negócios, inicia-se o terceiro estágio pensando nas atividades, objetivos e resultados necessários para a sua implementação. Através de uma

representação detalhada do novo modelo de negócios voltado para a economia circular, é traçado um plano de gerenciamento do projeto para as ações implementadas. Antes da implementação do modelo de negócio circular, é importante organizar um roteiro com caminhos críticos, interdependências e responsabilidades bem definidas. Após essa organização, é importante planejar como as pessoas envolvidas internamente ou externamente da organização, irão receber as mudanças implementadas, resultando, portanto, num Plano de gestão de mudança organizacional em direção ao novo modelo de negócio circular. Por fim, é importante elaborar um plano de acompanhamento de desempenho do modelo implementado, para facilitar a identificação de sucesso ou revés nos processos modificados, e então, rever, avaliar ou diversificar o modelo voltado para a economia circular.

Portanto, é possível perceber que para a implementação de um novo modelo de negócios voltado para a economia circular, é necessário traçar algumas estratégias para que o modelo seja implementado com sucesso. O guia *Circular Economy Business Modelling (2020)* aponta três estágios, com ferramentas em cada um deles, que auxiliam no primeiro momento a entender o que é um modelo de negócios circular e as atividades aplicadas por ele. Depois estimula a pensar quais destas podem ser aplicadas no modelo existente levando em consideração os objetivos da empresa, bem como os usuários e clientes internos e externos. Por fim, são apresentadas estratégias que auxiliam a finalmente implementar o novo modelo de negócios voltado para a economia circular, com estratégias de acompanhamento das novas atividades para verificar se estão sendo bem aplicadas e bem aceitas por usuários internos e externos. Dessa forma, com estratégias e ações bem pensadas e executadas, o modelo de negócios tende a gerar resultados positivos e atingir os objetivos desejados.

## 2.3 PRODUÇÃO DE CACHAÇA ARTESANAL

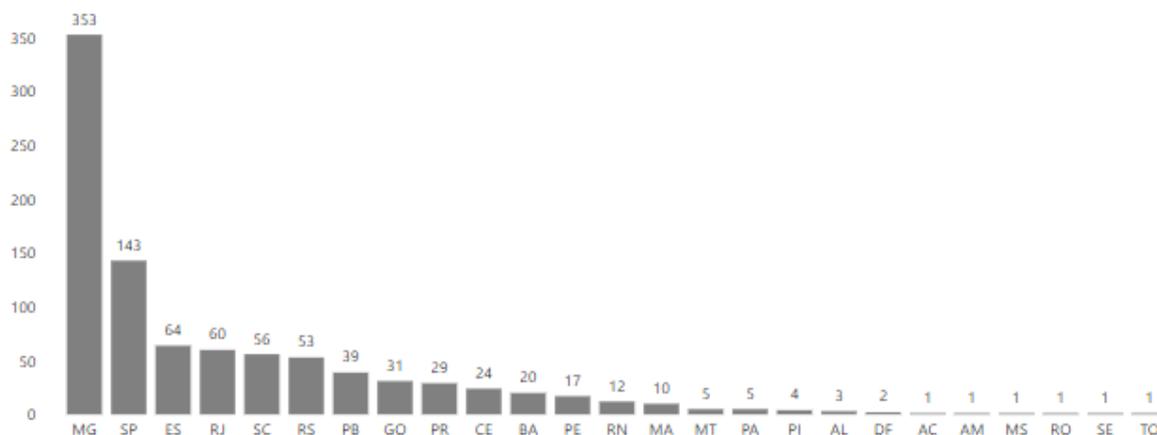
O presente trabalho analisará a produção de cachaça artesanal no Engenho São Miguel, em Quissamã - RJ, objetivando identificar e implementar práticas circulares na fábrica estudada. Antes de analisar o modelo de negócios circulares em engenhos produtores de cachaça artesanal, é importante abordar o mercado dessa bebida no Brasil, bem como informar os processos produtivos.

### 2.3.1 Mercado de cachaça artesanal

A cachaça é uma bebida genuinamente brasileira, produzida através da fermentação e destilação do melão da cana de açúcar. Foi descoberta por escravizados em meados do século XVI, e por ser consumida exclusivamente por eles e brancos pobres, era considerada uma bebida de baixo status pela sociedade (EMBRAPA, 2022). Com o passar dos anos, a bebida foi se popularizando, o que fez com que os colonizadores passassem a substituir as bebidas importadas da Europa que possuíam valores mais elevados, como vinho e bagaceira, pela cachaça, que era mais acessível (GONÇALVES e CAVICHIOLI, 2021). A bebida tornou-se símbolo de ideias de liberdade entre os inconfidentes mineiros e de resistência da cultura brasileira pelo Movimento Modernista de 1922 (PINHEIRO *et. al.*, 2003).

Atualmente, a cachaça possui grande relevância na economia do Brasil, com uma cadeia de produção que movimenta bilhões em fornecimento de insumos, produção, comercialização e com alta capacidade para geração de empregos (GONÇALVES e CAVICHIOLI, 2021). O Brasil possui capacidade de produzir 1,2 bilhão de litros de cachaça por ano, sendo cerca de 75% produzido de forma industrial, e 25% produzido de maneira artesanal (EMBRAPA, 2022). O Anuário da Cachaça de 2021, fornecido pelo MAPA (2022), informa que o país possui 936 engenhos produtores da bebida e que 609 municípios possuem pelo menos uma fábrica desse ramo. Dados da IBRAC (2023), apontam que o setor de cachaça gera aproximadamente 600 mil empregos.

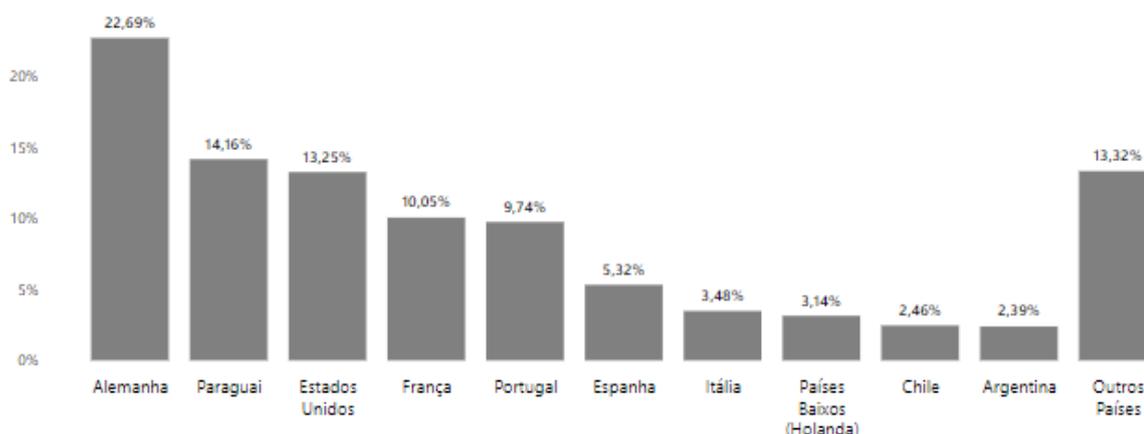
Segundo o IBRAC (2023), os principais estados produtores de cachaça são São Paulo, Pernambuco, Ceará, Minas Gerais e Paraíba, e os principais consumidores são São Paulo, Pernambuco, Rio de Janeiro, Ceará, Bahia e Minas Gerais. Quanto à produção de cachaça artesanal, destacam-se os Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Bahia e São Paulo, com os estados mineiro e fluminense representando aproximadamente 50% da produção de cachaça de alambique do país (EMBRAPA, 2022). O Gráfico 1, informa a quantidade de engenhos produtores de cachaça por estado.

**Gráfico 1 - Registro de Estabelecimentos Produtores de Cachaça por UF, 2021**

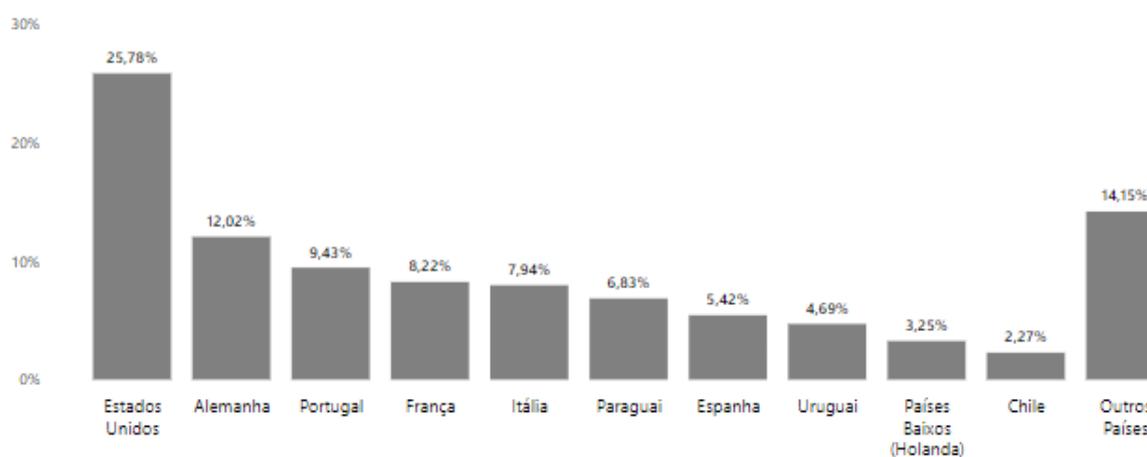
Fonte: BRASIL (2022).

Além de apresentar números bastante expressivos dentro do mercado interno, a produção de cachaça voltada para exportação possui bastante destaque também. Segundo o IBRAC (2023) a bebida é considerada o terceiro destilado produzido localmente mais consumido do mundo, atrás da Vodka na Rússia e o Soju na Coreia do Sul. O instituto afirma ainda que em 2022 cerca de 9,31 milhões de litros de cachaça foram exportados para 76 países, por mais de 50 empresas diferentes, gerando uma receita de aproximadamente US \$20,8 milhões.

De acordo com o IBRAC (2023), no ano de 2022 houve um aumento de 29,03% de volume exportado e de 52,38% de valor arrecadado com exportações comparado ao ano de 2021. Os principais países de destino em volume foram, respectivamente, Alemanha, Paraguai, Estados Unidos, França e Portugal. Já em relação ao valor, os principais países de destino foram, Estados Unidos, Alemanha, Portugal, França e Itália. Os Gráfico 2 e Gráfico 3 demonstram detalhadamente a porcentagem de litros exportados e valor arrecadados com exportação, de acordo com os principais países consumidores.

**Gráfico 2 - Principais Países de Destino em Volume, 2022**

Fonte: Comex Stat - Ministério da Economia - NCM 2208.40.00

**Gráfico 3 - Principais Países de Destino em Valor, 2022.**

Fonte: Comex Stat - Ministério da Economia - NCM 2208.40.00

Embora os gráficos apresentados não separem as exportações relativas a cachaça industrial e artesanal, dados da ANPAQ (2019) revelam que a “80% da exportação em 2018 correspondeu à cachaça industrial, enquanto a cachaça artesanal, produto de maior valor agregado, representou 20% do volume total”.

Gonçalves e Cavachioli (2021) afirmam que os clientes para cachaça artesanal são pessoas com maior poder aquisitivo, que apreciam a degustação da bebida e, portanto, estão dispostas a pagar por um preço maior pela qualidade oferecida. Segundo o EMBRAPA (2022), o valor agregado na produção artesanal é muito elevado, já que o consumidor adquire um produto praticamente exclusivo. Além disso, destaca-se que outras formas de agregar

valor ao produto são através de certificados de qualidade e os certificados socioambientais, como o orgânico e o de localização geográfica (EMBRAPA, 2022). Assim, entende-se que, por trazer benefícios socioambientais, a implementação de ações circulares no processo de produção da cachaça artesanal deve também agregar valor ao produto.

### **2.3.2 Processo de produção da cachaça**

Segundo Ward (2023), o consumidor de bebidas alcoólicas tem considerado, cada vez mais, as questões ambientais como um tema importante. A autora reforça que a seleção de produtos nesse setor é influenciada por diversos aspectos, entre eles, estão a imagem e posicionamento da marca, e que nesse contexto, a sustentabilidade está progressivamente se tornando um elemento essencial, deslocando gradualmente a demanda nessa direção.

Maciel *et. al.* (2021) mostra que os consumidores de cachaça artesanal se atentam não só com a qualidade do produto, mas também com o processo produtivo, preocupando-se com os danos ambientais causados. Para o autor, isso vem fazendo com que os produtores adotem técnicas que maximizem a sustentabilidade nos processos de produção, visando reduzir os impactos negativos ao meio ambiente e assegurar a qualidade do produto.

Sobre o processo produtivo da cachaça vale destacar que existem diferenças entre a cachaça industrial e a artesanal. As cachaças industriais são produzidas em grande escala e a cana de açúcar é cultivada em grandes áreas, enquanto a cachaça artesanal é produzida em escala menor por pequenos produtores (EMBRAPA, 2022).

Além disso, enquanto na produção da pinga industrial utiliza-se colunas de destilação e tonéis de aço inox, adiciona-se produtos químicos na fermentação e não se separa a parte nobre do destilado, na produção de cachaça artesanal a destilação é feita em alambiques de cobre, onde há a separação da parte nobre do destilado, e a fermentação ocorre de maneira natural (DE OLIVEIRA, 2010).

Em relação à parte nobre do destilado, Farias e Silva (2020) destacam que a produção de cachaça envolve uma divisão em três segmentos distintos: cabeça, coração e cauda. As porções conhecidas como cabeça e cauda são inadequadas para o consumo como cachaça devido ao seu teor alcoólico extremamente alto e baixo, respectivamente. Assim, cerca de 80% do produto final corresponde à porção chamada coração, que é a cachaça desejada e valorizada pelo produtor.

Neste sentido, a produção de cachaça artesanal apresenta um processo mais complexo, uma vez que há considerações particulares a serem ponderadas em cada etapa, visando

aprimorar a qualidade e garantir procedimentos produtivos mais rigorosos (MACIEL *et al.*, 2021). De acordo com Farias e Silva (2020), as etapas de produção da cachaça artesanal seguem o seguinte processo: plantio e colheita da cana de açúcar; moagem; fermentação; destilação; armazenagem ou envelhecimento; e engarrafamento.

**Figura 3 - Fluxograma da produção da cachaça**



Fonte: EMBRAPA (2022), adaptado pelo autor.

#### Etapa 1. Plantio e colheita da cana de açúcar

A matéria prima para a produção de cachaça é a cana de açúcar e esta tem extrema importância tanto para a qualidade do produto como para a produtividade de fabricação. Assim, o produtor deve ficar atento com as variedades da cana e escolher as que melhor se adaptem aos requisitos do solo, período de safra, clima da região, teor de açúcar, resistência a doenças e porte da planta (VILELA, 2005; OLIVEIRA; 2010).

Segundo Santos (2021), a cana de açúcar ideal para a produção da cachaça apresenta porte ereto, entrenós longos e fácil despalha, além de possuir quantidades de fibras que não prejudique a moagem da cana, já que quanto maior for essa quantidade, menor será a eficiência na extração do caldo.

Além disso, a adoção de boas práticas na colheita da cana também influencia na qualidade do produto. É recomendado que a colheita seja realizada sem queima, quando os colmos estiverem completamente maduros, e que sejam cortadas rente ao nível do solo. Essas medidas visam evitar a infestação de pragas e doenças nas cepas remanescentes, bem como permitir a rebrota, o que assegura o fornecimento de matéria prima para o próximo ciclo. É indispensável também que a cana-de-açúcar seja armazenada em área coberta, protegida da exposição direta ao sol, sereno e chuvas (OLIVEIRA, 2010; SANTOS; 2021).

## Etapa 2. Moagem da Cana

Após a colheita, a cana-de-açúcar é prontamente encaminhada para a moagem para a obtenção do caldo, com o cuidado de evitar o armazenamento prolongado, pois isso poderia comprometer a fermentação (RAMOS; GONÇALVES, 2018). A fim de garantir a produção de um produto de maior qualidade é sugerido realizar a lavagem da cana-de-açúcar e dos equipamentos antes do processo de moagem (DE OLIVEIRA, 2010).

Como subproduto desse processo, obtém-se o bagaço de cana, que pode ser aproveitado tanto como combustível na caldeira quanto na produção de ração animal. Indica-se armazenar em tambores o óleo e a graxa utilizados na manutenção do equipamento de moagem para posterior reutilização no tratamento e preservação de madeiras e palanques na propriedade rural (RAMOS e GONÇALVES, 2018).

## Etapa 3. Filtração e decantação do caldo

Após a moagem, o caldo da cana contém impurezas, como bagacilhos, terra e areia, e, portanto, deve passar por dois processos, sendo eles o de filtração e decantação. No primeiro processo as partículas maiores do bagaço são separadas do caldo. No segundo processo, as partículas sólidas remanescentes no caldo filtrado são alocadas no fundo do recipiente por decantação. Essas etapas garantem a limpeza do caldo e permitem uma fermentação de maior qualidade, com riscos de contaminação reduzidos (DE OLIVEIRA, 2010).

## Etapa 4. Diluição do caldo

Antes da fermentação, é necessário reduzir os teores de açúcares do caldo. Isso é feito a partir da adição de água de boa qualidade na dorna de diluição até o teor de sacarose ficar entre 14° e 16° Brix. Nesta etapa, pode-se também acrescentar ácido sulfúrico no caldo para evitar sua contaminação por bactérias que possam produzir compostos indesejáveis e prejudiciais à qualidade do produto (EMBRAPA, 2022).

## Etapa 5. Fermentação

Após a diluição do caldo, este é adicionado às dornas para a fermentação, que pode ocorrer de duas formas: por meio da adição de fermentos biológicos ou através da fermentação natural (MACIEL *et. al.*, 2021). Durante a fermentação, as leveduras desempenham papel fundamental ao agir sobre o caldo da cana, convertendo a sacarose em álcool e outras substâncias químicas (SCHOENINGER; COELHO; SILOCHI, 2014). A espécie de levedura predominante é a *Saccharomyces cerevisiae* devido à sua maior capacidade de resistir ao estresse osmótico e ao etanol (OLIVEIRA, 2010).

A um teor de sólidos solúveis de 15° Brix, este processo dura entre 24 e 36 horas, mas, dependendo de fatores externos como falta de controle de temperatura, o processo pode durar até uma semana (MACIEL *et. al.*, 2021). Segundo Vilela (2005), as temperaturas ideais para a fermentação alcoólica são entre 25-30°C. Para verificar o término deste processo observa-se o surgimento de bolhas no caldo, acompanhado por um aroma agradável e, para uma abordagem mais técnica, certifica-se através de um sacarímetro que o Brix do vinho (caldo da cana fermentado) produzido chegou a zero (EMBRAPA, 2022; VILELA, 2005).

Os processos de fermentação mais comuns são os de batelada sucessiva e batelada semi-contínua (VILELA, 2005). O método da batelada sucessiva é o mais utilizado por produtores de cachaça artesanal, no qual as leveduras decantadas no vinho, que preenchem aproximadamente 20% do volume útil da dorna, são reaproveitadas para fermentações subsequentes (SORATTO *et. al.*, 2007 apud DE OLIVEIRA, 2010). Por fim, o vinho é retirado das dornas e é levado para o alambique, onde ocorrerá a destilação (EMBRAPA, 2022).

## Etapa 6. Destilação

A destilação é uma das principais etapas de produção, pois é nela que se separa as substâncias de interesse produzidas durante a fermentação, sendo, portanto, um processo de extrema importância para garantir uma cachaça de alta qualidade (LIZ *et al.*, 2016). Para a produção de cachaça artesanal, o equipamento responsável por fazer a destilação é o alambique de cobre. Esse equipamento é composto por uma caldeira conectada a uma torre, juntamente com uma tromba que leva à uma serpentina de resfriamento, de onde sairá a cachaça (SANTOS, 2021).

Nesse processo o mosto fermentado (vinho) é direcionado para o alambique, onde é aquecido pelo vapor proveniente da caldeira, que é alimentada por lenha e bagaço de cana, até alcançar uma temperatura média de 120°C. À medida que o vapor, contendo a cachaça, se

forma, é resfriado pela circulação de água fria, condensando-se a uma temperatura média de 62°C. Em seguida, passa por um segundo tanque com água fria para resfriamento adicional até atingir a temperatura ambiente, para que a cachaça possa, enfim, ser transferida para o tanque de armazenamento (MACENA, 2021).

Segundo Santos (2021), é na etapa de destilação que ocorre a separação dessas frações, na qual são descartadas as partes com substâncias indesejadas, como o metanol. De acordo com Oliveira (2010) a cabeça corresponde a cerca 10% do volume total destilado, o coração corresponde a aproximadamente 80%, e a cauda representa os 10% finais. A autora afirma que a fração da cabeça e da cauda é descartada ou incorporada a um novo vinho destinado à destilação, e o coração é a cachaça propriamente dita.

Além disso, Maciel *et al.* (2021) afirma que o subproduto da destilação do caldo de cana-de-açúcar fermentado, conhecido como vinhoto ou vinhaça, possui um volume significativo, representando aproximadamente 83% do vinho destilado. No entanto, é importante ressaltar que a vinhaça possui um alto potencial poluidor e deve ser manejado com cuidado pelas cachaçarias, a fim de evitar danos ao meio ambiente.

Por fim, padroniza-se o destilado para que este fique com teor alcoólico entre 38% e 54% e seja engarrafado ou destinado aos barris de madeira para envelhecimento (EMBRAPA, 2022).

#### Etapa 7. Envelhecimento, engarrafamento e comercialização.

Após o processo de destilação, indica-se deixar a cachaça descansando em um recipiente por um período mínimo de noventa dias, já que nesse tempo ocorrem importantes reações de oxidação que deixam a bebida mais suave (OLIVEIRA, 2010). Logo na sequência desse período de descanso, a bebida pode ser destinada ao comércio, vendida a granel ou engarrafada, mas pode também ser transferida para barris de madeira onde esta será envelhecida (SANTOS, 2021).

De acordo com o IBRAC, o Carvalho é o tipo de madeira mais empregado para esta prática, mas é comumente utilizado também a Cerejeira (Amburana), Bálsamo, Amendoim, Jequitibá, Eucalipto, entre outros. O envelhecimento em tonéis de madeira melhora o sabor, aroma e qualidade da cachaça, aumentando, portanto, o valor agregado do produto (SCHOENINGER; COELHO; SILOCHI, 2014; MACENA, 2021).

Após o período de envelhecimento a cachaça deverá ser envasada. Costuma-se usar garrafas de vidro ou cerâmica que variam entre 600 ml e 1 litro, e são fechadas com rolhas ou

tampas metálicas. Posteriormente, faz-se a rotulagem com a marca e informações do produto para que ele possa enfim ser comercializado (SCHOENINGER; COELHO; SILOCHI, 2014).

Dessa forma, percebe-se que o processo de produção da cachaça artesanal envolve algumas etapas, cada uma delas com suas atividades e cuidados específicos. O entendimento de cada etapa, desde o plantio até a comercialização, é essencial para que se possa fazer uma análise das perdas que envolvem cada uma delas e do que é reaproveitado durante o processo. Assim será possível fazer uma análise de possíveis práticas a serem implementadas em cada etapa e que contribua para que todo o processo se torne mais sustentável, buscando um modelo de negócio baseado nos conceitos de Economia Circular.

### **2.3.3 Processo produtivo da cachaça artesanal e a economia circular**

Alguns autores como Maciel *et. al.* (2021); Oliveira (2010); Santos (2021); Farias e Silva (2020); Ramos e Gonçalves (2018), já desenvolveram estudos acerca da produção de cachaça artesanal envolvendo sustentabilidade e economia circular. Os estudos revelam perdas envolvidas em algumas etapas do processo e sugerem possíveis formas de reaproveitamento ou circularidade. Portanto, é importante analisar as diferentes práticas utilizadas em determinadas etapas do processo produtivo, entre elas destaca-se as seguintes etapas: Plantio, corte e colheita, Moagem, Destilação e Engarrafamento.

Etapa: Plantio, corte e colheita

- Para a produção de cachaças orgânicas, descarta-se o uso de agrotóxicos na área de cultivo da cana de açúcar, optando-se por uma adubação orgânica ou compostagem (MACIEL *et. al.*, 2021).
- Nas atividades de corte e colheita da matéria prima, práticas citadas anteriormente, como corte rente ao nível do solo e colheita feita sem queima da cana, contribuem para a rebrota no plantio seguinte e evitam doenças nas cepas remanescentes, influenciando não só na qualidade do produto como para a sustentabilidade do processo (OLIVEIRA, 2010; SANTOS; 2021).

Etapa: Moagem

- Na etapa da moagem tem-se o bagaço da cana como resíduo gerado. Este pode ser reaproveitado na cadeia de produção da cachaça, utilizando-o como combustível na

caldeira. As cinzas provenientes desta queima podem ser utilizadas como adubo no plantio da cana de açúcar (FARIAS e SILVA, 2020; MACIEL *et. al.*, 2021).

#### Etapa: Fermentação

- Nesta etapa pode-se reaproveitar as leveduras decantadas no vinho para fermentações subsequentes (SORATTO *et. al.*, 2007 apud OLIVEIRA, 2010).

#### Etapa: Destilação

- Na destilação gera-se subprodutos que podem ser reaproveitados no processo produtivo. Ramos e Gonçalves (2018), ao estudarem a produção da cachaça artesanal “Pinga dos Ramos”, localizada no município de Tatuí-SP, observaram que para a produção de 120 L de cachaça (fração do coração), são gerados como subproduto 480 L de vinhaça, 8 a 10 L de cabeça e 20 a 35 L de cauda, além de utilizar 2.000 L de água para a condensação da cachaça.
- A vinhaça, também conhecida como vinhoto, deve ser manejada com cuidado já que possui um alto potencial poluidor e seu descarte em corpos d’água podem trazer imensuráveis danos ambientais, sociais e econômicos (RAMOS E GONÇALVES, 2018; MACIEL *et. al.* 2021).
- Ainda acerca da vinhaça, por possuir nutrientes interessantes, como o potássio, muitos engenhos a reaproveitam no plantio da cana, através da fertirrigação. Essa ação faz com que um subproduto que seria descartado seja inserido novamente na cadeia de produção, diminuindo custos e melhorando o plantio da cana (MACIEL *et. al.* 2021).
- As partes consideradas inadequadas para o consumo, conhecidas como cabeça e cauda, também podem ser reaproveitadas e trazer economia para o produtor. Isso porque elas podem ser transformadas em etanol através de uma coluna retificadora, podendo ser utilizado como combustível para os veículos da fábrica, reduzindo os gastos nesse segmento (RAMOS E GONÇALVES, 2018).
- Além disso, Farias e Silva (2020) afirmam que numa cachaçaria pernambucana, estudada pelas autoras, o álcool proveniente da cauda é também utilizado como produto de limpeza, e que a água usada para condensação da cachaça é reaproveitada, gerando uma economia de aproximadamente 50% para a empresa.

#### Etapa: Engarrafamento

- Por fim, após a destilação, deixa-se a cachaça descansar por cerca de 90 dias para que ela seja então levada aos barris de madeira e sejam engarrafadas. Segundo Ramos e Gonçalves (2018), a cachaçaria “Pinga dos Ramos” utiliza garrafas retornáveis para fornecimento do produto, o que faz com que estas possam ser reutilizadas após esterilização no processo de engarrafamento. Essa iniciativa permite que um produto que seria descartado possa ser reutilizado tanto pelo cliente, como pelo fabricante, diminuindo a quantidade de resíduos gerados e trazendo economia para ambos.

Portanto, observa-se que práticas sustentáveis já vêm sendo utilizadas por alguns engenhos produtores de cachaça artesanal, nos quais resíduos gerados em determinadas etapas são reutilizados no processo produtivo. Farias e Silva (2020) destacam também a importância da utilização de energias sustentáveis na fábrica, como solar e eólica, que trazem economia ao produtor e não prejudicam o meio ambiente. Dessa forma, é possível avaliar quais das ações sustentáveis mencionadas são ou não adotadas no engenho São Miguel, identificar possíveis novas práticas, para então analisar a viabilidade dessas ações.

## 2.4 PROJETOS DE ENGENHOS

Nesta seção, serão explorados os projetos de engenhos voltados para a produção de cachaça. Para isso, será oferecida uma contextualização histórica da construção desses locais, com destaque para a organização histórica dos engenhos e os métodos construtivos utilizados na época. Além disso, serão abordados aspectos mais contemporâneos, como a planta baixa dessas fábricas e os cuidados específicos necessários para esse ambiente. Adicionalmente, serão apresentadas as estruturas de concreto pré-moldado em galpões, que são amplamente utilizadas por fábricas do setor agrícola atualmente, inclusive pelos engenhos produtores de cachaça.

### 2.4.1 Contextualização histórica da construção dos engenhos

Os engenhos constituíam vastos complexos arquitetônicos compostos por diversas edificações interligadas e com funções específicas. O número e o estilo arquitetônico das construções variavam de acordo com a capacidade de produção e a importância de cada engenho. Alguns complexos adquiriram características de vilarejos semi autônomos,

abrigo uma série de estruturas além das essenciais para a produção de açúcar, enquanto outros se limitavam ao mínimo necessário para essa finalidade (AZEVEDO, 2009).

A história das técnicas construtivas dos primeiros engenhos coloniais no Brasil possui lacunas significativas que podem ser esclarecidas por meio de pesquisas arqueológicas. Embora os escritos coloniais da época fornecessem informações detalhadas sobre as riquezas da nova terra, ainda há muito a ser descoberto. Um dos aspectos em aberto é compreender como ocorreu a ocupação e o assentamento das terras brasileiras após a chegada dos portugueses, incluindo as técnicas construtivas utilizadas nas primeiras construções rurais, como os engenhos (FERRAZ E OLIVEIRA, 2022).

Segundo Gomes (1996), até meados do século XIX, os engenhos eram comumente localizados próximos aos rios, pois utilizavam a força motriz da água para as moendas e também para o transporte do açúcar produzido. Com o passar do tempo, os engenhos passaram a ser posicionados de maneira mais racional nos terrenos, possivelmente seguindo modelos franceses. De acordo com o autor, os edifícios eram independentes uns dos outros e as técnicas construtivas empregadas em cada unidade nem sempre eram as mesmas. As principais unidades que compunham os engenhos eram a casa grande, a capela, as senzalas e o engenho (fábrica).

Em relação às Casas Grandes, Louis-Léger Vauthier documentou amplamente as suas técnicas construtivas, observando que o tijolo era geralmente o material preferido. No entanto, ele também notou que em alguns casos as paredes eram construídas com pedras argamassadas com barro até o primeiro andar, e em outras ocasiões, paredes de pau-a-pique eram utilizadas. Isso evidencia o uso frequente de argamassa mista nas construções de muitas casas (GUERRA e DA SILVA, 2019).

Para Guerra e Da Silva (2019), a taipa era uma técnica construtiva amplamente utilizada durante a colonização brasileira, tem suas raízes no Oriente e foi introduzida na Península Ibérica pelos árabes após sua conquista sobre os visigodos em 711. A taipa de mão, conhecida também como pau-a-pique, taipa de sopapo ou taipa de sebe, é um método em que as paredes são estruturadas com diferentes tipos de madeira ou bambu e preenchidas com barro e fibras vegetais.

De acordo com Gomes (1996), em Pernambuco as casas grandes passaram por diversas modificações ao longo dos séculos, influenciadas pelas circunstâncias locais, como a disponibilidade de materiais de construção, as necessidades dos proprietários e suas limitações. Esses fatores tornaram difícil a definição de uma imagem clássica da arquitetura das casas grandes, resultando em uma variedade de estilos e características.

No que tange as capelas do século XVII, retratadas nas pinturas de pintores holandeses, são caracterizadas por sua planta retangular e telhados de duas águas, não possuindo torres, mas todas apresentam uma copa na fachada. A principal diferença entre elas reside no tamanho. As capelas menores possuem uma copa coberta por um telhado de três águas, sustentado por dois pilares, enquanto as capelas maiores possuem uma copa coberta pelo mesmo tipo de telhado, porém sustentada por quatro colunas (AZEVEDO, 1990 apud FERRAZ e OLIVEIRA, 2022). Segundo Gomes (1996), as capelas eram construídas com materiais mais duráveis, como alvenaria de pedras ou de tijolos, demonstrando o seu valor simbólico nos engenhos.

Sobre as senzalas, destinadas à moradia dos escravos, eram geralmente instaladas em locais mais baixos ou acidentados do terreno, de modo que pudessem ser avistadas a partir da casa grande, que ocupava uma posição mais elevada (FERRAZ e OLIVEIRA, 2022). Para estas edificações a técnica construtiva, geralmente considerava o uso da taipa ou adobe, sendo cobertas com palha (AZEVEDO, 2009). De acordo com Ferraz e Oliveira (2022), nas senzalas as estruturas eram feitas com tramas de madeira, fibras, água e argila, o que conferia funcionalidade às construções, porém, resultava em uma durabilidade limitada. Os autores afirmam que esse sistema construtivo foi amplamente adotado durante os primeiros séculos, o que justifica a escassez de vestígios arqueológicos dessas edificações.

Finalmente no que diz respeito ao edifício da fábrica dos engenhos, nota-se uma relativa estabilidade nos sistemas construtivos ao longo dos séculos. Os materiais utilizados permaneceram praticamente inalterados por quatro séculos, incluindo tijolos para paredes e colunas, telhas de canal e madeira para coberturas, ocasionalmente complementados por alvenaria de pedra e pisos de terra batida (GOMES, 2006 apud FERRAZ E OLIVEIRA, 2022).

Ainda sobre as fábricas, Rojas (2005), ao analisar engenhos no município de Areias-PB, afirmou que há uma variação nos sistemas construtivos. Nestes, verificou-se a presença de paredes autoportantes em alvenaria de tijolos de adobe e colunas independentes feitas do mesmo material nos engenhos antigos, enquanto nos engenhos mais recentes encontram-se colunas autoportantes de concreto com alvenaria de vedação utilizando tijolos cerâmicos de 08 furos. Esse mesmo edifício abrigava tanto a moenda quanto os espaços de purificação do açúcar, conforme retratado na iconografia da época (FERRAZ e OLIVEIRA, 2022). A Figura 4 do pintor Frans Post, retrata um engenho, onde é possível visualizar a moenda e as caldeiras.

**Figura 4 - Ilustração de um engenho produtor de açúcar e cachaça do século XVII**



Fonte: Ferraz e Oliveira (2022).

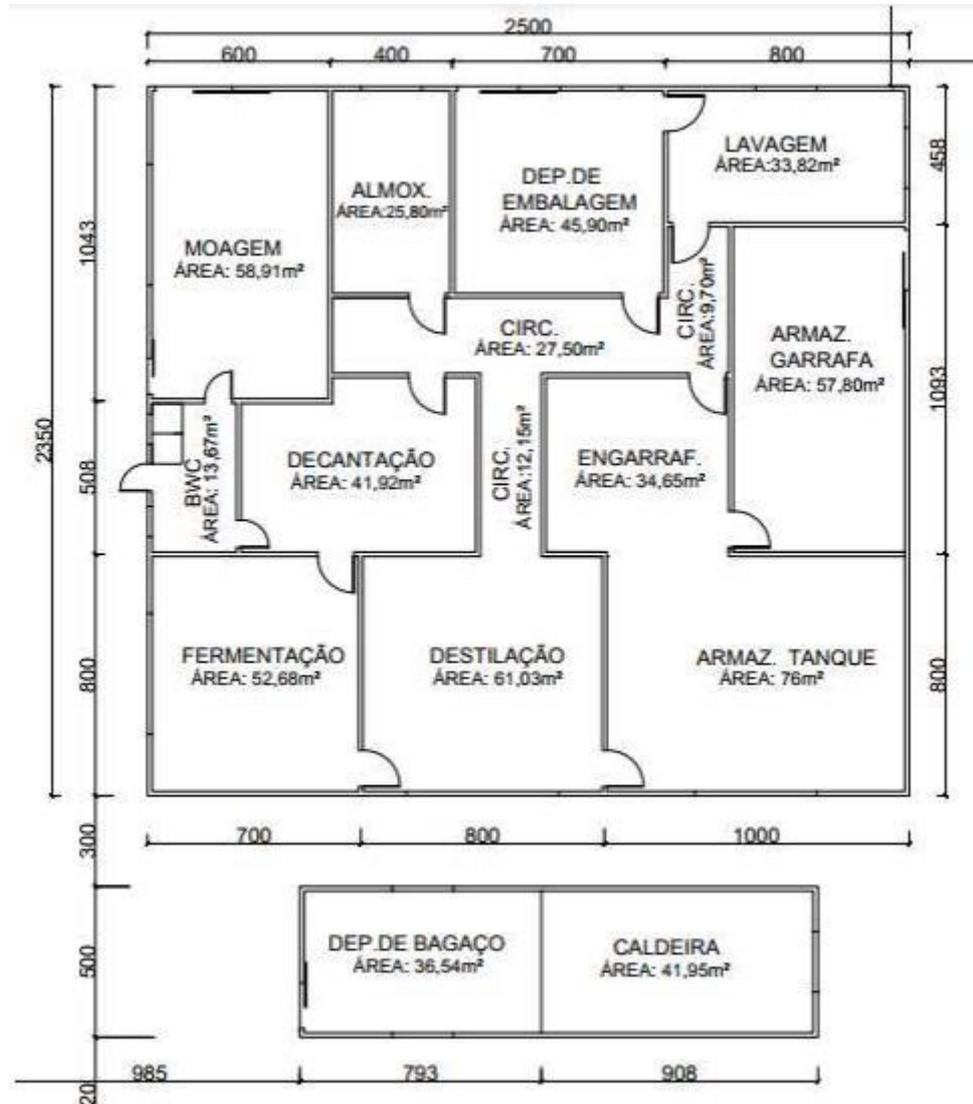
O modelo de fábrica passou por mudanças ao longo dos anos, inclusive acerca da organização e finalidade dos engenhos. Historicamente, estavam voltados para a produção do açúcar, do melado, da rapadura e da cachaça, entretanto, atualmente, muitas indústrias se dedicam exclusivamente à produção de um dos produtos, como por exemplo a cachaça.

Acerca dos engenhos produtores de Cachaça, a partir de uma perspectiva mais recente da Indústria, De Souza (2017) propõe algumas especificações. De acordo com a autora, a estrutura da indústria desempenha um papel importante na qualidade do produto, destacando que é necessário que haja espaço suficiente para acomodar os equipamentos e permitir a circulação adequada de pessoas.

- A. A iluminação em todas as áreas deve ser adequada, com placas de proteção em caso de problemas nas luzes.
- B. O piso deve ser construído com materiais resistentes, antiderrapante, impermeável e com declive para facilitar a drenagem durante a limpeza.
- C. As paredes devem ser construídas e revestidas com acabamento liso, impermeável, resistente e com pé direito alto. Recomendando-se pintar o local com cores claras para melhorar a luminosidade, utilizando tinta epóxi.
- D. Caso haja a opção pelo uso de janelas, estas devem ter proteção contra insetos e pragas, com peitoril inclinado para evitar o acúmulo de poeira.

E. Deve-se considerar uma planta com a acomodação dos cômodos, conforme ilustrada na Figura 5.

**Figura 5 - Planta baixa modelo para engenhos produtores de cachaça**



Fonte: De Souza (2017).

Vale ressaltar que segundo o autor, a disposição das salas e estruturas no terreno deve ser pensada de maneira estratégica, de forma a facilitar o fluxo e atender as necessidades estabelecidas. Este projeto também pode facilmente ser visualizado dentro de galpões.

Queiros (2007) afirma que os galpões, têm sido considerados pelas indústrias para diversos fins, como atividades industriais, comerciais ou até mesmo agrícolas, portanto, pode-se considerar também para os Projetos de Engenhos. Geralmente, um galpão é uma edificação

térrea de grandes dimensões em planta e estruturado através da aplicação do concreto pré-moldado. O tópico 2.4.2 contextualiza as estruturas de concreto pré moldado.

### **2.4.2 Estruturas de concreto pré-moldado**

A indústria da construção civil tem sido considerada atrasada em comparação com outros setores industriais. Essa avaliação baseia-se em sua baixa produtividade geral, alto desperdício de materiais, lentidão e controle de qualidade inadequado (EL DEBS, 2017). No entanto, uma maneira de reduzir essa defasagem é adotar técnicas relacionadas à estrutura de concreto pré-moldado, que estão cada vez mais despertando o interesse dos profissionais da área devido à sua praticidade e benefícios (PAULA, 2016).

Diferentemente das obras de concreto moldadas no local, as estruturas pré-moldadas são caracterizadas por um sistema construtivo em que a estrutura, ou parte dela, é moldada antecipadamente e fora de sua posição definitiva de utilização (SANTOS, 2010). Dessa forma, as partes da construção são fabricadas em condições melhores do que as encontradas no local e depois montadas como parte do processo construtivo. As características do concreto pré-moldado proporcionam benefícios significativos para a construção, tais como redução do tempo de construção, melhor controle dos componentes pré-moldados e redução do desperdício de materiais (EL DEBS, 2017).

Em relação à fabricação dos elementos pré-moldados, Júnior (1992) aponta que vem atingindo níveis de produção industrial em larga escala, eles são considerados pré-fabricados. A NBR 9062 estabelece também uma distinção entre elementos pré-moldados e pré-fabricados, com base no controle de qualidade aplicado durante a execução do elemento (SANTOS, 2010). Ao referir-se a norma, o autor destaca que o elemento pré-moldado é produzido com um controle de qualidade menos rígido comparado ao pré-fabricado, que é produzido industrialmente com um rigoroso controle de qualidade.

El Debs (2017) reforça que existem duas classificações para o concreto pré-moldado com base no local de produção: pré-moldado de fábrica e pré-moldado de canteiro. O pré-moldado de fábrica é produzido em instalações permanentes localizadas distantes da obra, podendo ou não ser alcançado o nível de pré-fabricação exigido pela NBR 9062. Nesse caso, é necessário levar em consideração os custos e a logística do transporte da fábrica até o local da obra. Por outro lado, o concreto pré-moldado de canteiro é produzido em instalações temporárias próximas à obra. Embora a produtividade geralmente seja menor nesse caso, não são necessárias preocupações com os custos e a logística do transporte.

### 2.4.3 Os galpões de concreto pré-moldado

Conforme sinalizado, entre as aplicações do concreto pré-moldado, destaca-se o uso em galpões. Geralmente, um galpão é uma edificação térrea de grandes dimensões em planta, projetada para diversos fins, como atividades industriais, comerciais ou até mesmo agrícolas (QUEIROS, 2007).

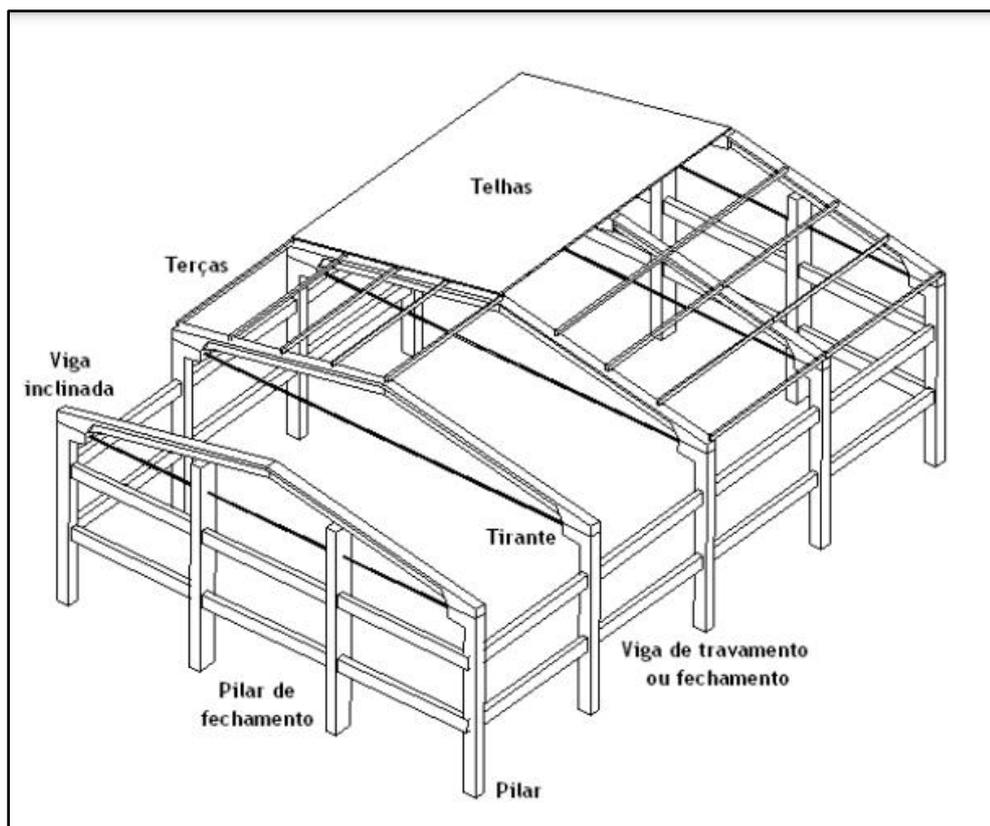
De acordo com Santos (2010), os galpões possuem um único pavimento e são ideais para construções que demandam alta flexibilidade arquitetônica. Isso se deve à possibilidade de utilizar vãos amplos e espaços abertos, sem a interferência de paredes e pilares em posições inadequadas, além de permitir futuras ampliações.

Segundo Júnior (1996), existem diversos sistemas construtivos para galpões pré-moldados. O autor afirma que dentre os existentes, o sistema predominante é aquele baseado em um esqueleto resistente, onde os elementos de cobertura e fechamento lateral são fixados.

O sistema estrutural em esqueleto é composto por pilares e vigas que formam o pórtico principal. Esses pórticos são espaçados de forma uniforme ao longo da estrutura e são interligados por terças na cobertura e vigas no fechamento lateral. No primeiro e no último pórtico (fechamento frontal), são adicionados pilares e vigas para absorver as forças horizontais provenientes do vento. A Figura 6 ilustra os componentes de uma estrutura em esqueleto (SANTOS, 2010).

Conforme mencionado por Iglesia (2006), o conceito da estrutura em esqueleto oferece maior flexibilidade no planejamento e na disposição das áreas do piso, sem obstruções causadas por paredes portantes internas ou por um grande número de pilares internos. O autor ainda afirma que, devido à independência do sistema estrutural em relação aos subsistemas complementares da edificação, como fechamentos, instalações hidráulicas e elétricas, a estrutura em esqueleto permite fáceis adaptações nas edificações para mudanças em seu uso, incorporando novas funções e inovações técnicas.

**Figura 6 - Componentes de estrutura em esqueleto**



Fonte: Santos (2010).

Santos (2010) propõe a definição de cada elemento estrutural apresentado na Figura 6, sendo eles:

- A. **Terças:** Elementos de concreto armado, concreto protendido ou metálicos que suportam o peso dos elementos de cobertura, como telhas, forros e luminárias, bem como as cargas variáveis, como o peso de pessoas durante a manutenção e acúmulo da água de chuva ou resíduos. Às terças ficam apoiadas nas vigas inclinadas do pórtico e podem auxiliar no travamento longitudinal da estrutura.
- B. **Vigas inclinadas, ou simplesmente vigas:** Elementos de concreto armado que fornecem apoio às terças, além de comporem o pórtico principal, juntamente com os pilares e os tirantes, fornecendo suporte e estabilidade à estrutura. Normalmente as vigas inclinadas também são conhecidas como traves ou braços, provavelmente para diferenciá-las das demais vigas da edificação.
- C. **Pilares do pórtico principal:** Elementos de concreto armado que compõem o pórtico principal e dão suporte para as vigas de travamento e as de rolamento. As

seções mais adotadas para essa estrutura são as quadradas e as retangulares, possuindo, geralmente, a dimensão mínima de 30 cm.

- D. Tirantes: Elementos metálicos que compõem o pórtico principal, com a função de aliviar as tensões e reduzir os deslocamentos resultantes dos carregamentos gravitacionais.
- E. Pilares de fechamento: São elementos de concreto armado utilizados nos fechamentos frontais da estrutura. Sua função é suportar as cargas provenientes do vento frontal e fornecer apoio às vigas de travamento.
- F. Vigas de travamento: São elementos de concreto armado responsáveis por receber as cargas dos fechamentos laterais e frontais. Além disso, desempenham um papel importante no travamento dos pilares, garantindo a estabilidade da estrutura.

#### **2.4.4 Os sistemas estruturais em concreto pré-moldado para galpões**

Segundo Queiros (2007), existe uma ampla variedade de sistemas e soluções técnicas disponíveis para a construção de galpões pré-moldados. No entanto, todos esses sistemas se enquadram em categorias estruturais básicas, e os princípios de projeto geralmente são semelhantes entre eles.

Entre os sistemas mais comumente utilizados, destacam-se os apoticados como opção mais popular. Segundo o autor, os sistemas estruturais em esqueleto podem ser com elementos estruturais de eixo reto, com elementos estruturais de eixo curvo ou com elementos compostos. Este trabalho terá foco na abordagem dos elementos estruturais de eixo reto.

##### *2.4.4.1 Sistemas estruturais com elementos de eixo reto*

Por conta da facilidade de produção, transporte e montagem, a maioria das estruturas pré-moldadas utilizadas são compostas por elementos de eixo reto (JÚNIOR, 1996). Para o autor, nesse sistema os pilares geralmente ficam engastados na fundação podendo estar unidos as vigas rigidamente, ou simplesmente de forma articulada, com as vigas apoiadas nos pilares.

Queiros (2007) afirma que esses sistemas podem ter as seguintes formas: (a) pilares engastados na fundação e viga articulada nos pilares; (b) pilares engastados na

fundação e a viga engastada nos pilares; (c) pilares engastados na fundação e dois elementos de cobertura articulados; (d) com ligação rígida entre pilares e elementos de cobertura.

Pilares engastados na fundação e viga articulada nos pilares: Essa configuração representa a forma mais econômica de construção e montagem de estruturas pré-moldadas, sendo essa a configuração mais comumente utilizada para galpões (JÚNIOR, 1996). A Figura 7 representa o modelo de pórtico utilizado para cálculo desse tipo de estrutura.

**Figura 7- Pilares engastados na fundação e viga articulada nos pilares**



Fonte: Queirós (2007).

Pilares engastados na fundação e a viga engastada nos pilares: essa configuração é adotada em situações em que os pilares são submetidos a momentos fletores significativos. Isso ocorre quando são utilizados pilares de grande altura, especialmente em casos em que há a presença de pontes rolantes com alta capacidade de carga (SANTOS, 2010). A Figura 8 ilustra o modelo de cálculo para esse tipo de situação.

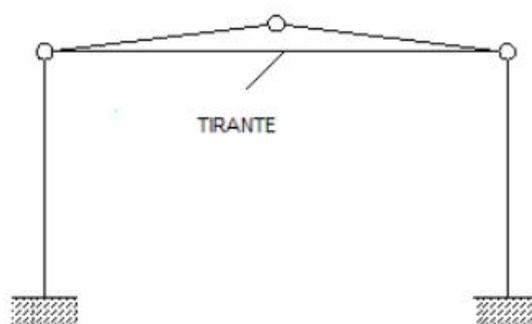
**Figura 8 - Pilares engastados na fundação e a viga engastada nos pilares**



Fonte: Queiros (2007).

Pilares engastados na fundação e dois elementos de cobertura articulados: Essa forma é comumente empregada em coberturas inclinadas e, frequentemente, apresenta um tirante no topo dos pilares. Essa configuração tem a vantagem de possuir elementos pré-moldados leves, o que facilita a sua montagem (QUEIROS, 2007). A Figura 9 representa o modelo de cálculo para essa situação.

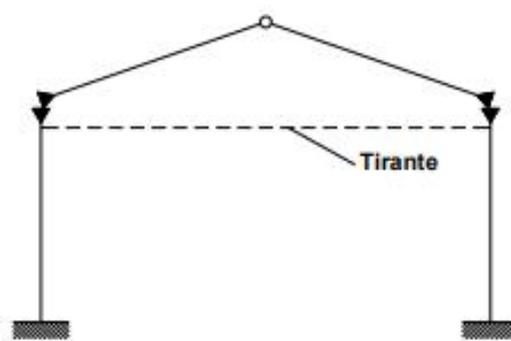
**Figura 9 - Pilares engastados na fundação e dois elementos de cobertura articulados**



Fonte: Queiros (2007).

Com ligação rígida entre pilares e elementos de cobertura: essa forma básica é amplamente adotada no Brasil para coberturas inclinadas. Nessa configuração, as rígidas conexões entre a viga e o pilar proporcionam estabilidade estrutural. A escolha por pilares engastados ou articulados à fundação depende dos requisitos do projeto (SANTOS, 2010). A Figura 10, ilustra o modelo de cálculo para essa situação.

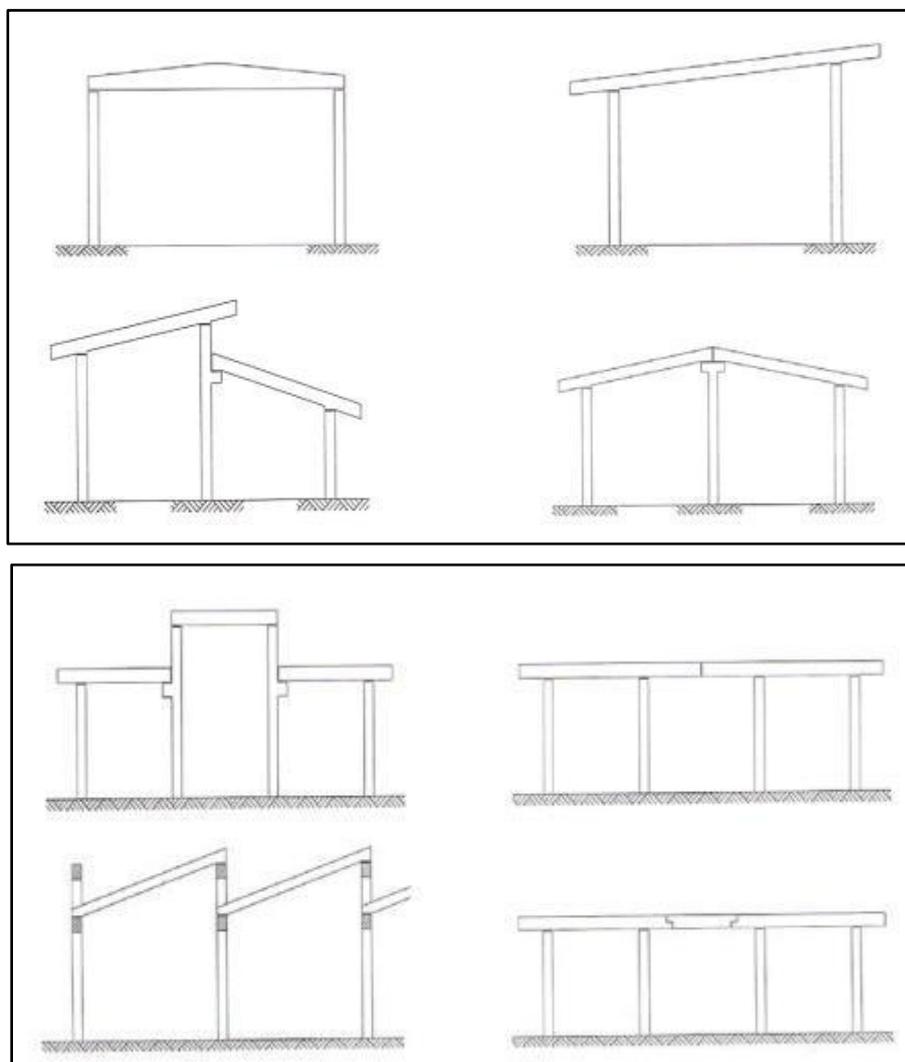
**Figura 10 - Com ligação rígida entre pilares e elementos de cobertura**



Fonte: Santos (2010).

Na Figura 11 são mostrados os principais arranjos construtivos derivados das formas básicas mencionadas anteriormente apresentando diferentes variações. Esses sistemas podem ser aplicados em galpões de um vão ou de vãos múltiplos.

**Figura 11 - Arranjos construtivos de elementos de eixo reto**



Fonte: El Debs (2000) apud Queiros (2007).

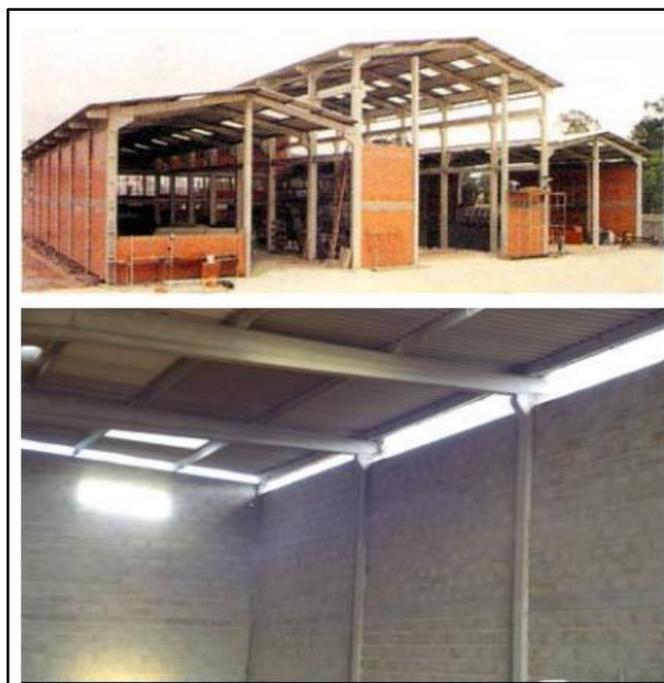
Para os fechamentos laterais, pode-se optar por painéis pré-fabricados de concreto armado, como também pode simplesmente optar por alvenaria convencional com blocos de concreto ou blocos cerâmicos (QUEIROS, 2007).

Quanto à cobertura, existem diversas opções de telhas disponíveis para uso em construções. Entre as mais utilizadas, tem-se as telhas metálicas, feitas de chapas galvanizadas, as telhas termoacústicas, compostas por telhas metálicas e material isolante

para melhor isolamento térmico e acústico, as telhas de fibrocimento e as telhas translúcidas (SANTOS, 2010).

As Figuras 12 e 13 representam, respectivamente, exemplos típicos para os fechamentos laterais e coberturas.

**Figura 12 - Exemplos de fechamentos laterais**



Fonte: Queiros (2007).

**Figura 13 - Exemplos de telhas em coberturas de galpões**



Fonte: Santos (2010).

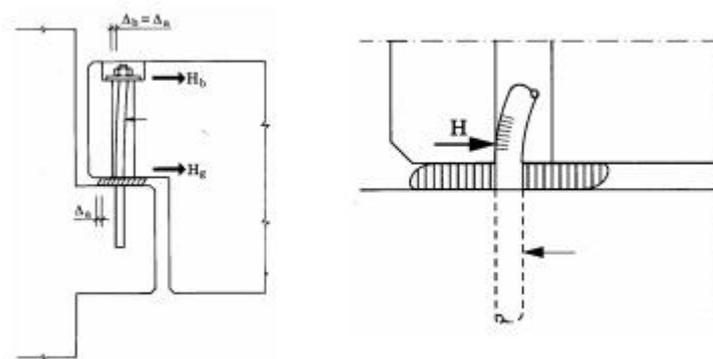
#### 2.4.4.2 Ligações entre estruturas de concreto pré-moldado

As ligações entre as diferentes estruturas de concreto pré-moldado são de extrema importância. Sua função é estabelecer uma ligação lógica entre os elementos pré-moldados, criando um sistema estrutural capaz de resistir a todas as forças atuantes, incluindo efeitos indiretos decorrentes da retração, fluência, variações térmicas, incêndio e outros (QUEIRÓS, 2007).

De acordo com a norma NBR 9062:2017, ao projetar as ligações entre os elementos pré-moldados, é levada em consideração não apenas a estabilidade geral da estrutura montada, mas também a estabilidade durante a fase de montagem. O projeto das ligações deve ser realizado após um estudo minucioso das possíveis solicitações em serviço, bem como durante a montagem.

No caso da ligação entre viga e pilar, são comumente utilizadas algumas alternativas, como a utilização de chumbadores responsáveis pela transferência das forças horizontais de um elemento para o outro. Nesse cenário, ocorre uma ação semelhante à de um pino, conforme ilustrado na Figura 14, na qual os chumbadores transferem apenas forças de tração, sem introduzir momentos de flexão na ligação (ACKER, 2002).

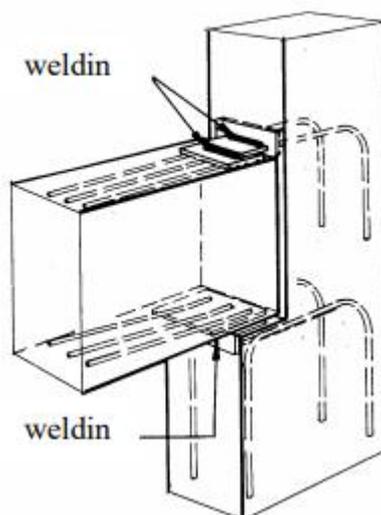
**Figura 14 - Efeito de pino**



Fonte: Acker (2002).

Outro tipo empregado na ligação viga-pilar são as ligações para transferência de flexão. Nesse caso, os momentos fletores são transferidos entre os elementos de concreto por meio do estabelecimento de um par de forças de tração e compressão. O princípio de projeto é baseado na interligação das armaduras por meio de sobreposição, chumbamento ou soldagem (ACKER, 2002). A Figura 15 ilustra o uso de chumbadores nesse tipo de ligação entre viga e pilar.

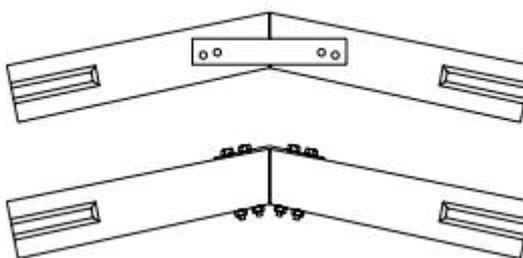
**Figura 15 - Ligação viga-pilar**



Fonte: Acker (2002).

Por outro lado, a ligação viga-viga, comumente ocorrida em galpões, pode ser feita com chapa metálica e parafusos. Essas chapas podem ser fixadas nas faces laterais ou superiores. Por conta de sua flexibilidade, essa ligação é normalmente considerada como uma articulação (SANTOS, 2010). A Figura 16 demonstra um exemplo para esses casos.

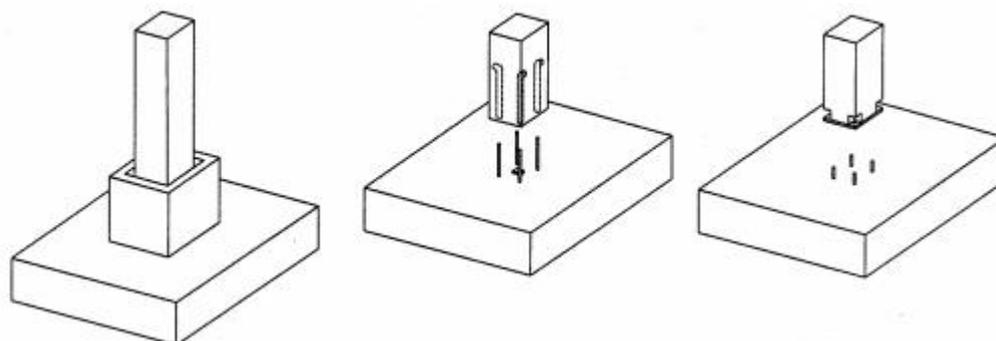
**Figura 16 - Ligação viga-viga**



Fonte: Santos (2010).

A respeito da ligação entre o pilar e a fundação, geralmente é necessária resistência à flexão. O engastamento do pilar na fundação pode ser executado de diversas maneiras, como ilustrado na Figura 17. No caso de cálices de fundação, a união entre o pilar e a fundação é alcançada por meio do preenchimento com graute ou concreto nos vazios existentes entre o pilar e as faces internas do cálice (ACKER, 2002).

**Figura 17- Ligação em cálice, ligação com chumbadores grauteados e ligação parafusada, respectivamente**



Fonte: Acker (2002).

Em outra solução, são deixadas armaduras longitudinais como espera na fundação, para posterior encaixe em nichos (ou bainhas) no pilar, os quais serão posteriormente preenchidos com graute. Já nas ligações pilar-fundação parafusadas, são utilizadas chapas de base ou cantoneiras, as quais são soldadas à armadura longitudinal do pilar antes da pré-moldagem, e posteriormente parafusadas nos chumbadores fixados nas bases das fundações (ACKER, 2002).

#### *2.4.4.3 Atividades envolvidas na fabricação de concretos pré-moldados*

Quando se trata de concretos pré-moldados em uma fábrica, a execução desses elementos pode ser dividida, de forma geral, em três fases distintas - atividades preliminares, execução propriamente dita e atividades posteriores (EL DEBS, 2017).

Fases Preliminares: Segundo El Debs (2017) as fases preliminares são iniciadas com a preparação dos materiais. O autor afirma que nessa fase são realizadas atividades como armazenamento adequado das matérias primas, dosagem e mistura precisa do concreto, preparo da armadura (corte e dobramento) e, quando necessário, montagem da armadura. Após isso, o concreto recém misturado e a armadura, seja ela montada ou não, são transportados até o local onde ocorrerá a moldagem dos elementos pré moldados.

Execução: Nesta fase, ocorre o preparo das formas, seguido de limpeza e aplicação de desmoldante nas mesmas, para evitar que o concreto adira a ela e dificulte a desmoldagem. Após esse preparo, coloca-se as armaduras e peças complementares nas

formas, para então fazer o fechamento das mesmas. Assim, a peça está pronta para receber o concreto produzido (EL DEBS, 2017).

Depois do lançamento na forma, é necessário realizar a cura do concreto. Segundo Philippsen e Shimosaka (2014), a cura do concreto tem como objetivo principal manter o concreto saturado, ou seja, garantir que ele permaneça com uma quantidade adequada de água durante o processo de endurecimento, até que os espaços inicialmente preenchidos pela água sejam ocupados pelos produtos resultantes da reação química de hidratação do aglomerante. Dessa forma, a cura adequada contribui para a obtenção de um concreto mais resistente, durável e com boas propriedades mecânicas.

Atividades Posteriores: Realizada a cura correta, é necessário realizar o desmolde das formas. Segundo El Debs (2017), durante o processo de desmoldagem, é importante considerar a aderência adequada entre o concreto e a fôrma, que é influenciada pelo tipo de material da fôrma e pela eficiência do desmoldante utilizado. Quanto ao método de desmoldagem, o autor afirma que geralmente é realizado por meio de dispositivos mecânicos que requerem mecanismos de elevação, como guindastes ou outros equipamentos de içamento. Além disso, em algumas situações, podem ser utilizados macacos hidráulicos ou até mesmo desmoldagem por meio de ar comprimido.

Após o desmolde bem executado, a peça pré-moldada passa por duas etapas de transporte: o transporte interno e o transporte externo. O primeiro envolve o manuseio da peça desde a desmoldagem até a etapa de carregamento, e o transporte externo, que consiste no deslocamento da peça da fábrica até o local de montagem. Durante essas etapas de movimentação dos elementos, é essencial considerar não apenas a resistência do concreto, mas também o efeito dinâmico (SANTOS, 2010).

Por fim, realiza-se a montagem da estrutura pré-moldada. É de extrema importância exercer um cuidado especial durante a fase de montagem de estruturas pré-moldadas de concreto, uma vez que se estima que cerca de 75% dos acidentes relacionados a essas estruturas ocorrem nessa etapa (EL DEBS, 2000 apud SANTOS, 2010).

Além disso, o mesmo autor afirma ainda que o dimensionamento da estrutura também deve levar em consideração essa fase, pois é possível que os elementos pré-moldados sejam submetidos a cargas e solicitações diferentes daquelas consideradas quando a estrutura está completa. Para galpões, em particular, deve-se atentar-se ao fato de que as vigas do pórtico ficarão apoiadas em escoras ou guindaste, conforme demonstrado na Figura 18.

**Figura 18 - Montagem de galpões de concreto pré-moldado**



Fonte: Santos (2010).

#### *2.4.4.4 Vantagens e desvantagens do uso de concreto pré-moldado*

De acordo com Queiros (2007) comparado ao método tradicional de construção civil, o sistema de produção de concreto pré-moldado apresenta características satisfatórias que resultam em vantagens. O autor destaca que a produção dos pré-moldados em fábrica permite processos de produção mais eficientes e racionais, com mão de obra especializada, repetição de tarefas, controle de qualidade, entre outros.

**Prazo da Entrega:** Um dos fatores destacados é que nesse sistema as condições climáticas não influenciam na produção, evitando atrasos por motivos de variações climáticas (PAULA, 2016).

**Custos:** Nessa modalidade, uma vez que o cliente tenha conhecimento do custo inicial da obra, não haverá reajustes ao longo do processo de construção devido a perda ou excesso de materiais, entre outros motivos (CEBEU *et al.*, 2021; PAULA, 2016). Da mesma forma, Junior (1992) destaca que esse método, quando comparado ao convencional, permite economias consideráveis de mão de obra, horas de trabalho e material. O autor destaca que, devido o custo com fôrmas representar uma alta parcela no custo global das estruturas em concreto armado, somado à oferta cada vez menor de madeira, a pré moldagem surge como uma ótima alternativa, já que nesse método o uso de fôrmas é reduzido.

**Materiais:** Quanto ao uso dos materiais, as estruturas pré-moldadas permitem maior potencial econômico, desempenho estrutural aprimorado e maior durabilidade em comparação com construções moldadas no local. Isso é alcançado através do uso de

equipamentos modernos e procedimentos de fabricação cuidadosamente desenvolvidos (QUEIROS, 2007). Além disso, os pré-moldados geram menos impacto ao meio ambiente se comparado a outros materiais (RAFAELE, 2019).

**Perdas:** Nas instalações prediais de estruturas convencionais, ocasionalmente ocorre a quebra da alvenaria devido à passagem das tubulações elétricas e hidráulicas pelo interior das paredes. No entanto, em estruturas pré-moldadas, são deixados nichos específicos para a passagem dessas instalações, evitando a necessidade de quebra durante a obra. Isso elimina desperdícios e entulhos na construção (CEBEU *et al.*, 2021).

**Resistência:** Paula (2016) afirma que a resistência ao incêndio é uma das características positivas das estruturas pré-moldadas, pois impede a propagação do fogo no interior da edificação. Essa propriedade é alcançada devido ao revestimento aplicado sobre a armadura. Além disso, segundo o autor, as estruturas de concreto pré-moldado podem proporcionar uma vida útil prolongada para a edificação, diferentemente dos métodos convencionais, nos quais o desgaste da estrutura ocorre mais rapidamente.

**Sustentabilidade:** Foi calculado o volume de CO<sub>2</sub> emitido para transporte de peças e insumos por pré moldados, e observou-se que é significativamente menor em relação aos métodos tradicionais (CAMPOS, 2012).

Quanto às desvantagens desse sistema, Queiros (2007) afirma que estas estão relacionadas ao transporte e à montagem dos elementos da estrutura, investimento inicial e relativos à mão de obra.

**Transporte e montagem:** As limitações de transporte estão relacionadas aos gabaritos de transporte, enquanto a montagem depende da disponibilidade e das condições de acesso aos equipamentos necessários para sua realização. Carneiro (2013) apud Paula (2016) afirma que essas limitações de transporte ou de montagem resultam numa necessidade de superdimensionar certos elementos.

**Investimento Inicial:** Esse sistema demanda altos investimentos iniciais, o que pode ser uma barreira para a adoção desse método construtivo (CARNEIRO, 2013 apud PAULA, 2016).

**Mão de obra qualificada:** Conforme Carneiro (2013) apud Paula (2016) a mão-de-obra necessária para a pré-fabricação e montagem das estruturas pré-moldadas precisa ser qualificada, o que pode representar um desafio em termos de disponibilidade e custos.

A escolha pelo método de construção em concreto pré-moldado oferece uma série de vantagens notáveis. Entre elas, destacam-se o maior potencial econômico, o

aprimoramento do desempenho estrutural, a durabilidade aprimorada e a redução do uso de materiais. Além disso, esse sistema resulta em uma considerável diminuição de desperdícios em comparação com o método convencional, tornando-o uma opção mais sustentável, com menor impacto ambiental.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção, será apresentada a metodologia utilizada por este trabalho, detalhando, de acordo com a bibliografia, seu conceito e procedimentos. Além disso, será contextualizado o caso estudado, trazendo abordagens históricas, os tipos de produtos e serviços oferecidos pela empresa, bem como seu organograma e perfil dos clientes.

#### 3.1 ESTUDO DE CASO

Existem diversas maneiras de realizar pesquisa em ciências sociais, e o estudo de caso é uma delas. Outros exemplos incluem experimentos, levantamentos, pesquisas históricas e análise de informações em arquivos. Cada estratégia tem suas próprias vantagens e desvantagens, dependendo do tipo de questão de pesquisa, do controle do pesquisador sobre os eventos comportamentais e do foco em fenômenos históricos ou contemporâneos. Os estudos de caso são preferidos quando se busca compreender como e por que os fenômenos ocorrem, quando há pouco controle sobre os eventos e quando se concentram em fenômenos contemporâneos dentro de um contexto real (YIN, 2001).

Um estudo de caso é uma investigação empírica que examina um fenômeno contemporâneo em seu contexto de vida real, mesmo que os limites entre o fenômeno estudado e o contexto não estejam claramente definidos (JÚNIOR, 2012). Essa abordagem é baseada em uma plataforma teórica e envolve a coleta de informações, dados e evidências por meio de diferentes técnicas. A triangulação dessas fontes garante a confiabilidade e validade dos resultados. O objetivo é compreender a complexidade de um caso concreto, identificar suas múltiplas dimensões e construir uma teoria que possa explicá-lo e prever seu comportamento (MARTINS, 2008).

O estudo de caso também é aplicável em diferentes áreas, como a economia, em que a estrutura de uma indústria ou a economia de uma cidade ou região podem ser investigadas. Essa abordagem é necessária para compreender fenômenos sociais complexos e preservar as características holísticas e significativas dos eventos da vida real, como ciclos de vida individuais, processos organizacionais e administrativos, mudanças em regiões urbanas, relações internacionais e o desenvolvimento de setores específicos (YIN, 2001).

De acordo com Martins (2008), a condução de pesquisas desse tipo requer um planejamento minucioso, baseado nas abordagens mencionadas no referencial teórico, assim como nas características particulares do caso em estudo. O autor ressalta a importância de

elaborar um protocolo de aproximação com o caso, bem como um plano detalhado das ações que serão realizadas até a conclusão do relatório de estudo.

Por fim, Gomes (2008) afirma que para se obter sucesso em uma pesquisa baseada em estudo de caso, é importante um bom design do estudo. Segundo o autor, isso inclui uma pergunta inicial clara e objetiva, proposições orientadoras, definição de unidades de análise e critérios de interpretação alinhados ao referencial teórico.

## 3.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA EMPRESA

Será realizada uma contextualização abrangente da empresa, levando em conta a sua história e estrutura organizacional, focando no Engenho São Miguel. Além disso, serão detalhados os produtos e serviços oferecidos pela empresa, fornecendo informações sobre seu organograma e o perfil dos clientes atendidos.

### 3.2.1 História e organização do Engenho São Miguel

O município de Quissamã, localizado no estado do Rio de Janeiro, possui uma cultura fortemente ligada à plantação de cana-de-açúcar. Nessa região, encontra-se a histórica Fazenda São Miguel, que cultivava cana-de-açúcar desde 1858, quando o Visconde de Quissamã estabeleceu seu engenho de açúcar e cachaça.

No século XVIII, Manoel Carneiro da Silva, avô do Visconde, implantou o primeiro engenho de Quissamã. Seus filhos, João Carneiro da Silva, Barão de Ururay, e José Carneiro da Silva, Visconde de Araruama, expandiram a produção açucareira e deram continuidade à tradição. Durante o século XIX, Quissamã chegou a ter sete engenhos de açúcar e cachaça, incluindo o Engenho São Miguel. Em 12 de setembro de 1877, o Visconde de Quissamã, juntamente com seus irmãos, fechou seus engenhos individuais e estabeleceu o Engenho Central de Quissamã. Essa fábrica recebeu a visita pessoal do Imperador Dom Pedro II e se tornou um marco na agroindústria brasileira, sendo o primeiro engenho de grande porte do país. Por mais de 100 anos, a Fazenda São Miguel forneceu cana-de-açúcar para o Engenho Central de Quissamã, até que este foi fechado em 2002. Para preservar a tradição de mais de 200 anos, Haroldo Cunha Carneiro da Silva e seu sócio, Guilherme Vardiero, ambos engenheiros agrônomos, fundaram o Engenho São Miguel em 11 de setembro de 2010. A fábrica foi projetada para atender às exigências do século XXI e iniciou suas atividades produzindo diversos produtos derivados da cana-de-açúcar, como cachaça, açúcar mascavo,

melado e etanol (para uso interno), com responsabilidade social e ambiental. Atualmente, a empresa concentra seu foco na produção de cachaça, enquanto melado e etanol são produzidos em menor escala, e a produção de açúcar mascavo está inativa.

O bagaço da cana é conduzido para a caldeira, onde produz o vapor necessário para a produção do açúcar mascavo e o aquecimento do alambique de cobre. O caldo da cana passa por um rigoroso processo de fermentação em dornas de aço inoxidável, utilizando leveduras naturais presentes na própria cana-de-açúcar, em um tempo inferior a 20 horas, garantindo um mosto de excelente qualidade. A destilação ocorre em um alambique de cobre, com controle preciso da temperatura na panela do alambique e no capelo, para obter uma cachaça de alta qualidade, livre de impurezas indesejáveis. Atualmente, apenas o "coração" da destilação é aproveitado para a produção de cachaça, destinando-se a "cabeça" e "cauda" para a produção de etanol.

### **3.2.2 Tipos de produtos e serviços**

Atualmente o Engenho São Miguel foca seus serviços para a produção e venda da cachaça 7 Engenhos. Para o armazenamento da bebida, a empresa utiliza barris de madeira de quatro tipos diferentes: amendoim, bálsamo, carvalho e cerejeira. Essa variedade proporciona diferentes sabores aos produtos, permitindo a produção de cachaças mais simples, e, portanto, de menor valor, ou de cachaças mais sofisticadas, que formam a linha premium. Apresenta-se abaixo os produtos e suas especificações resumidas.

Cachaça 7 Engenhos Prata: cachaça armazenada por três meses em barris de Amendoim-Bravo, porém sofre pouca interferência da madeira, não adquirindo cor. Seu sabor assemelha-se com o da cachaça recém saída do alambique, com gosto menos forte devido o breve envelhecimento no tonel de amendoim. Costuma ser muito utilizada em drinks, como a tradicional caipirinha. Possui um teor alcoólico de 42°GL.

Cachaça 7 Engenhos Bálsamo: cachaça descansada por um ano em tonéis de Bálsamo. O armazenamento em barris desse tipo de madeira fornece à cachaça aromas discretos de capim limão e erva-cidreira, apresentando ao paladar notas herbais. Possui um teor alcoólico de 42° GL.

Cachaça 7 Engenhos Carvalho: cachaça envelhecida por dois anos em toneis de Carvalho Americano, oferecendo à bebida aromas de baunilha e especiarias. Este produto apresenta um sabor mais suave e sofisticado. Possui um teor alcoólico de 39° GL.

Cachaça 7 Engenhos Cerejeira: cachaça armazenada por um ano em barris de Cerejeira, também conhecida como Amburana, nativa do Brasil, oferecendo à bebida aromas de baunilha e canela. Este produto também apresenta um sabor mais suave e sofisticado, que já lhe rendeu prêmios como a Medalha de ouro no Concurso Mundial de Bruxelas, nos anos de 2013 e 2014, e ouro na ExpoCachaça de 2013 em São Paulo. Este produto apresenta teor alcoólico de 39°C.

Cachaça 7 Engenhos Especial: da linha Premium, comercializadas em garrafas e embalagens mais sofisticadas, se trata de um blend das quatro madeiras, sendo a base de carvalho americano 3 anos envelhecidos, além da cerejeira, bálsamo e amendoim.

Cachaça Redentor: também é um blend da linha Premium, com apresentação em embalagem de luxo, sendo que a sua base é de carvalho americano envelhecido há 6 anos, o que faz desse produto o segundo mais caro da linha. A Redentor foi desenvolvida com a direção do Santuário Cristo Redentor, que administra o monumento do Corcovado, para comemorar os 90 anos do ponto turístico mais visitado do país, eleito uma das sete maravilhas do mundo moderno. A 7 Engenhos é o único destilado do mundo autorizado pela Igreja Católica a utilizar a imagem do Cristo Redentor na sua garrafa.

Cachaça 7 Engenhos Imperial: produto com maior valor agregado da linha, foi desenvolvido para comemorar os 450 anos da cidade do Rio de Janeiro em 2015, com produção limitada a 450 garrafas numeradas, vendidas a 450 Reais. Tem o mesmo blend da Redentor, sendo comercializadas em caixas altamente sofisticadas.

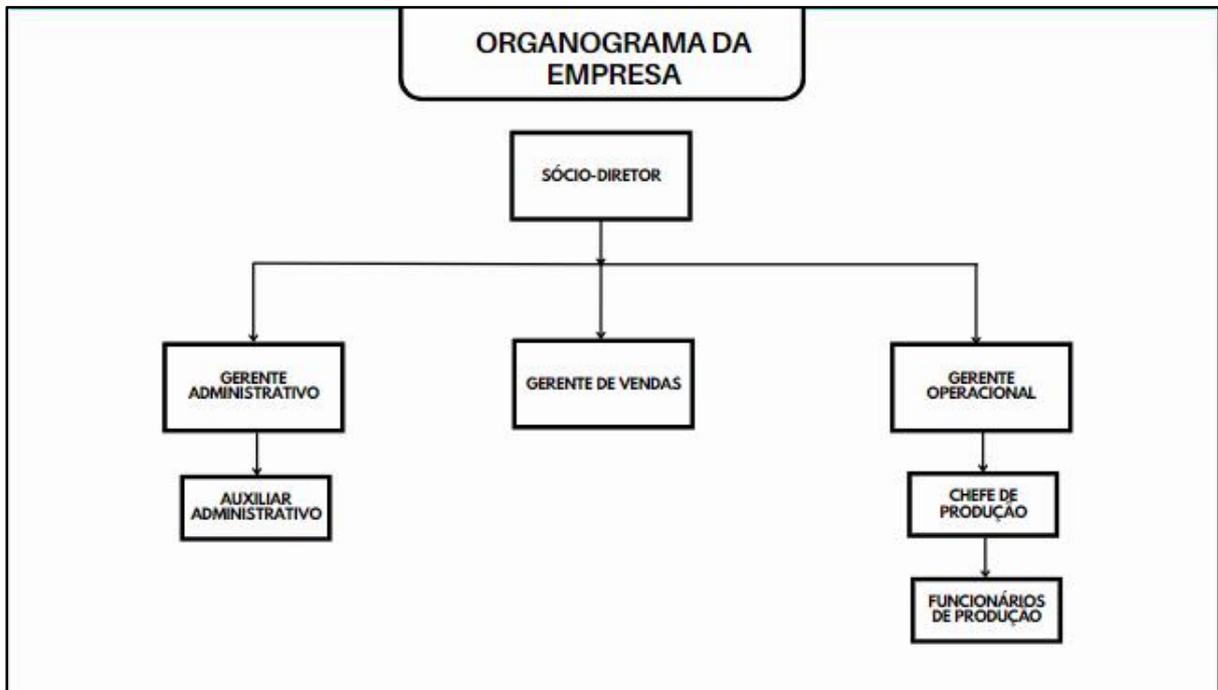
Os produtos são armazenados em garrafas de vidro de 700 ml, 160 ml e 50 ml, com exceção das cachaças de linha premium (7 Engenhos Especial, Redentor e 7 Engenhos Imperial), que são armazenadas apenas em garrafas de vidro de 700ml e possuem um design diferenciado.

Estes produtos são vendidos no próprio Engenho São Miguel, que além de receber consumidores locais, recebe também grupos de turistas, mas seus principais consumidores são bares, restaurantes e supermercados, com maior concentração na cidade do Rio de Janeiro. Atualmente, o engenho exporta cachaça para países como França, Singapura, Estados Unidos e Itália.

Além dos diferentes tipos de cachaça, o Engenho São Miguel produz também etanol e melado da cana de açúcar. O primeiro é produzido através do reaproveitamento da cabeça e cauda oriundas da destilação, destinado ao consumo dos veículos próprios da fazenda. Já o melado é produzido e vendido para uma das marcas mais conhecidas desse doce, e que também possui sede em Quissamã-RJ.

### 3.2.3 A organização da empresa

**Figura 19 - Organograma da Empresa**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Respeitando as hierarquias demonstradas no organograma apresentado na Figura 19, lista-se abaixo os cargos ocupados na empresa e suas respectivas funções.

**Sócio-Diretor:** responsável pelo planejamento estratégico da produção, comercialização e posicionamento da marca, além da supervisão de todas as atividades da empresa.

**Gerente administrativo:** responsável pelo faturamento das vendas, controle dos recebimentos e pagamentos de pessoal, insumos, serviços, impostos e outros.

**Gerente de Vendas:** desempenha o papel de embaixador da marca, atendendo clientes e promovendo as vendas dos produtos, com foco na cidade do Rio de Janeiro.

**Gerente Operacional:** tem a função de fiscalizar e acompanhar todo processo produtivo da empresa, desde a produção da cana até a produção da cachaça, do etanol e do melado. Coordena as atividades de todos os funcionários envolvidos na produção no campo e na fábrica.

**Auxiliar administrativo:** responsável pelo controle e planejamento de estoque de produtos e insumos, pela avaliação mensal das vendas por cliente, além de auxiliar a gerente administrativo-financeiro em algumas funções.

**Chefe de Produção:** funcionário que participa da produção na fábrica, sendo o líder para coordenar o processo.

**Funcionários da Produção:** ocupam posições definidas dentro do processo de produção, desempenhando as funções do corte da cana, moagem, caldeireiro, transporte da cana, destilador, envase e rotulagem dos produtos prontos.

### **3.2.4 Perfil dos clientes**

A linha de produtos 7 Engenhos possui um valor agregado elevado, sendo consumido por clientes das Classes A, B e C +. Os principais pontos de vendas são bares e restaurantes frequentados por consumidores de alto poder aquisitivo, que consomem os produtos através de drinks e caipirinhas. As vendas de garrafas são feitas principalmente em redes de supermercados de elevado padrão e lojas de bebidas finas.

Os principais mercados consumidores são Rio de Janeiro, Niterói, São Paulo capital, Búzios, Macaé e Quissamã. Os produtos também são exportados para clientes da França, Itália, Singapura e Estados Unidos, sendo o da França o cliente que compra com maior regularidade. Os sócios pretendem aumentar a exportação no ano de 2023, com alguns clientes já bem encaminhados.

## 4 RESULTADOS

Os resultados estão organizados em quatro partes. Na primeira parte será apresentado o projeto do engenho, bem como detalhes da estrutura do galpão da fábrica, a planta baixa do ESM, considerando a acomodação e características dos cômodos. Na segunda parte será apresentado o processo produtivo. Na terceira parte será apresentada a relação do ESM com a economia circular. Na quarta parte será apresentada uma proposta de modelagem de negócios circular para o Engenho São Miguel.

### 4.1 O PROJETO DO ENGENHO

O Engenho São Miguel iniciou suas atividades em 1858, quando o Visconde de Quissamã resolveu plantar cana nessa região. Com a criação do Engenho Central de Quissamã, em 1877, o Engenho São Miguel deixou de produzir açúcar e cachaça, onde a fazenda apenas fornecia cana de açúcar para a nova fábrica. O prédio do Engenho São Miguel ficou abandonado e atualmente não se tem resquícios dessa construção. A fazenda São Miguel forneceu cana de açúcar até 2002 para o Engenho Central, quando este deixou de funcionar. Com o objetivo de manter viva a tradição secular, Haroldo Cunha Carneiro da Silva e Guilherme Vardiero, engenheiros agrônomos, uniram-se para estabelecer o Engenho São Miguel no dia 11 de setembro de 2010. A fábrica foi projetada com o objetivo de atender às exigências do século XXI.

Por conta da tradição da fazenda São Miguel e da cidade de Quissamã no plantio da cana e produção de açúcar e cachaça, os proprietários optaram por construir a fábrica com métodos modernos, mas preocupando-se com a arquitetura que remetesse à história e cultura do local. Dessa forma, a fachada principal da fábrica, bem como a torre de fumaça foram inspiradas na arquitetura do Engenho Central de Quissamã, valorizando também o turismo histórico da região. As Figuras 20 e 21 demonstram respectivamente a imagem da fachada principal da fábrica atual, bem como a torre atual, enquanto a Figura 20 ilustra a fachada do Engenho Central fundado em 1877.

**Figura 20 - Fachada principal do Engenho São Miguel**



Fonte: Foto fornecida pelo Sócio-Diretor da fábrica.

**Figura 21- Torre do Engenho São Miguel**



Fonte: Autoria própria

**Figura 22- Fachada principal Engenho Central de Quissamã**



Fonte: <http://wikimapia.org/39700152/pt/Fachada-Hist%C3%B3rica-do-Engenho-Central>

Para a construção do Engenho São Miguel, optou-se pela estrutura em concreto pré-moldado, através da aplicação do galpão. Esse tipo de estrutura permite grande flexibilidade arquitetônica devido aos grandes vãos e espaços abertos. Dessa forma facilita-se acomodar os ambientes da fábrica de acordo com suas funções. A empresa responsável pela execução, transporte e montagem da estrutura pré-moldada está localizada na cidade de Macaé - RJ, próxima à Quissamã. Esta empresa construiu outros galpões na cidade com uma estrutura similar à estrutura do engenho. A Figura 23 mostra uma imagem da execução da obra, no qual a estrutura pré-moldada foi adotada.

**Figura 23 - Estrutura do galpão utilizado no ESM**



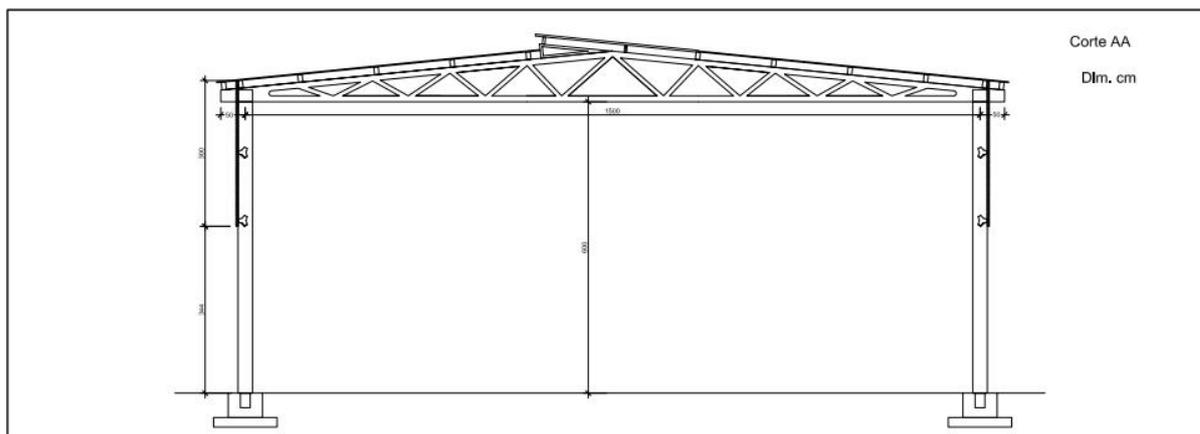
Fonte: Foto disponibilizada pelo engenheiro da construtora.

A motivação para escolha da estrutura de galpão para o engenho se deu devido ao seu custo benefício, uma vez que a presente alternativa se apresentou economicamente mais interessante e de execução mais rápida. Além disso, o fator da flexibilidade arquitetônica também foi levado em consideração. Para os gestores do engenho um dos fatores positivos está relacionado a pequena quantidade de entulhos gerados, o que facilitou a limpeza do ambiente. Neste sentido, os tópicos 4.1.1 apresentam uma análise da estrutura e o tópico 4.1.2 uma análise da planta baixa do ESM.

#### **4.1.1 Análise da estrutura do ESM**

Conforme foi apresentado na Figura 23, nota-se que o sistema utilizado nesse galpão foi baseado em um esqueleto resistente. É possível observar a presença de cinco pórticos, formados pela fundação, pilares e vigas, que constituem a estrutura principal. Além deles, visualiza-se também os pilares de fechamento, que recebem as cargas de vento frontais e as vigas de travamento, para receber as cargas dos fechamentos frontais e laterais, além de auxiliarem no travamento dos pilares. A Figura 23, revela que as terças que recebem as cargas da cobertura ainda não haviam sido montadas. Para os fechamentos laterais, optou-se em utilizar blocos de concreto, enquanto para a cobertura foram utilizadas telhas metálicas.

A Figura 24 apresenta o desenho do corte. Os pilares do pórtico estão engastados na fundação, e a viga está simplesmente apoiada nos pilares. Quanto às ligações, segundo o engenheiro da empresa fabricante do galpão, as vigas estão associadas aos pilares por meio de chumbadores, enquanto a ligação entre pilar e fundação foi aparafusada.

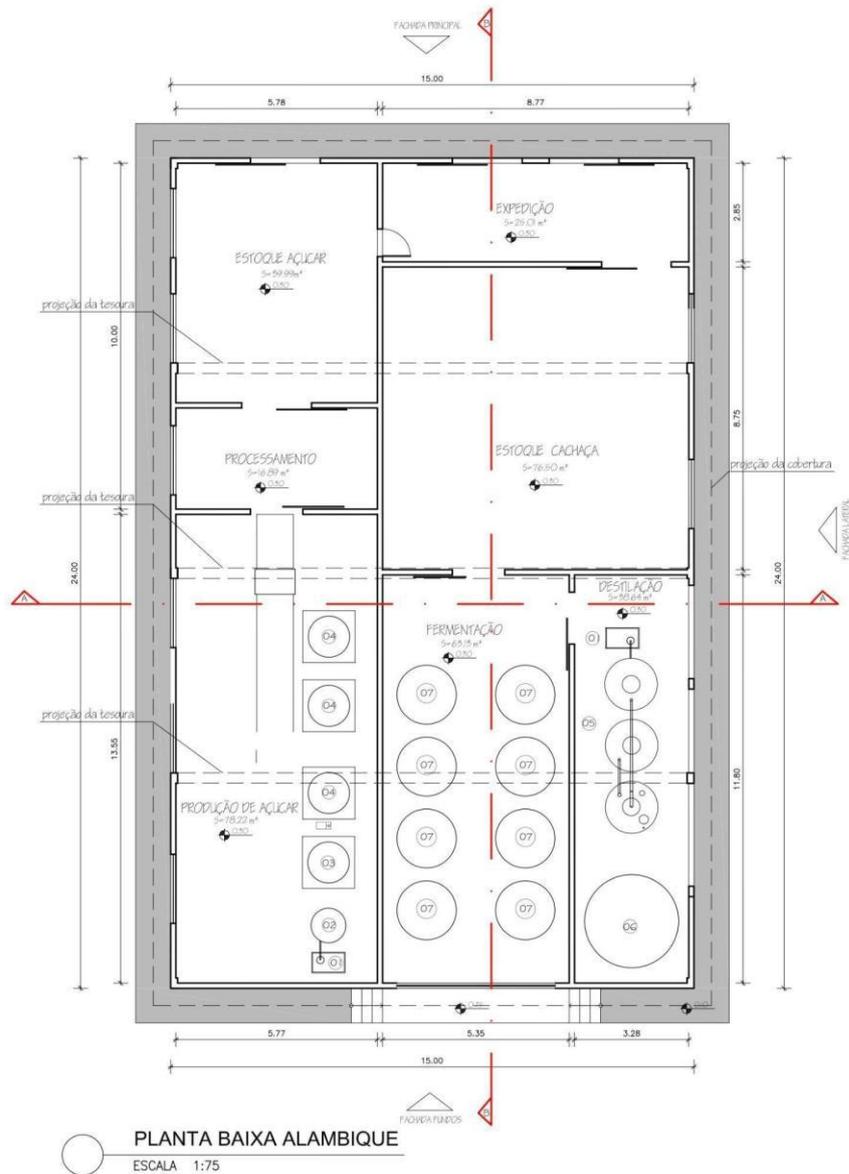
**Figura 24 - Corte da estrutura do galpão do Engenho São Miguel**

Fonte: Disponibilizada pelo engenheiro da obra.

#### 4.1.2 Análise da planta baixa do ESM

A Figura 25 apresenta a planta baixa da fábrica do Engenho São Miguel, enquanto a Figura 26 mostra a planta baixa da área que abriga a moenda e a caldeira, que foram planejadas para ter um fluxo de produção eficiente e de fácil operação. Desta forma, cada compartimento, suas dimensões e posicionamento foram planejados de acordo com suas funções e equipamentos que seriam instalados.

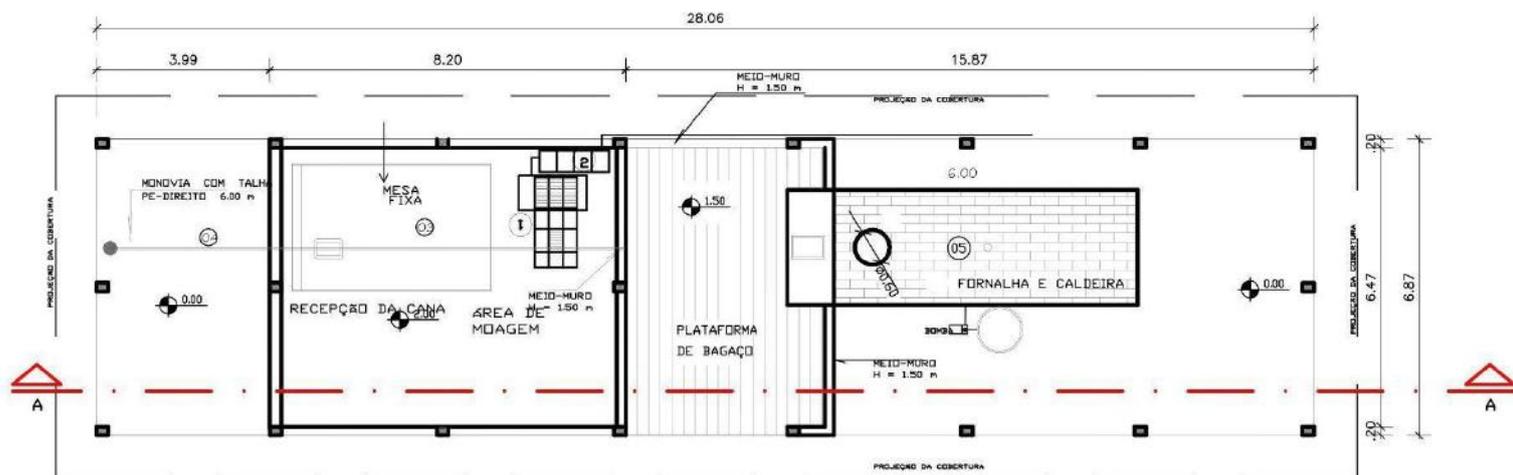
**Figura 25 - Planta baixa da fábrica**



Fonte: Planta disponibilizada pelo Sócio-Diretor do ESM.

Visando um fluxo de produção contínuo, a moenda foi posicionada no fundo da planta da fábrica, com a caldeira instalada ao seu lado para facilitar a utilização do bagaço para queima de sua fornalha. A fim de otimizar os custos da obra, a sala de decantação do caldo extraído da cana, localiza-se abaixo da plataforma de bagaço, numa sala contígua à caldeira, conforme mostra a Figura 26.

**Figura 26 - Planta baixa moenda e caldeira**



Fonte: Planta disponibilizada pelo Sócio-Diretor do ESM

O galpão da fábrica de produção de açúcar, melado e cachaça foi posicionado a 10 m de distância da caldeira para evitar acidentes com incêndio. Este local foi projetado com 15 m de largura e 24 m de comprimento, possuindo 6 m de pé direito, a fim de abrigar todas as salas de produção.

Nos fundos do galpão, área mais próxima à moenda e caldeira, foram posicionadas as salas de produção de açúcar, fermentação e destilação, uma ao lado da outra, para receber o caldo da cana extraído da moenda. Vale ressaltar que na sala de produção de açúcar atualmente produz-se apenas melado.

Em frente à sala de fermentação e destilação, foi posicionada a sala de estoque de cachaça, em que a cachaça passa pelo processo de envelhecimento. Em frente a sala de produção de açúcar, foi posicionada a sala de processamento, atualmente utilizada para estoque de rótulos e tampas. Em seguida tem-se a sala de estoque de açúcar, que é subdividida em estoque de insumos, como garrafas e caixas, e estoque de produtos prontos, como melado e cachaça.

Ao lado direito da sala de estoque de açúcar, encontra-se a sala de expedição, onde acontece o engarrafamento da cachaça. Sendo assim, tanto a cachaça, armazenada na sala de envelhecimento, quanto os insumos para o engarrafamento, localizados na sala de estoque de açúcar, são enviados à sala de expedição para a etapa de engarrafamento. Por fim, os produtos prontos retornam para o cômodo, onde ficarão estocados para serem despachados para distribuição.

Quanto aos acabamentos, cada cômodo utilizou um tipo específico de revestimento, para as paredes, e de piso, de acordo com suas funções e normas preconizadas pelo Ministério da Agricultura. Nas salas de decantação, de produção de açúcar, expedição, fermentação e envase, que demandam uma higiene mais rigorosa, o piso utilizado foi uma resina epóxi branca e lavável de alta resistência. Nas paredes, utilizou-se tinta branca, epóxi lavável até a altura de dois metros. Na Figura 27 e na Figura 28, visualiza-se a sala de produção de açúcar e de fermentação, respectivamente, onde esses acabamentos foram aplicados.

**Figura 27- Sala de produção de açúcar**



Fonte: Autoria própria

**Figura 28 - Sala de fermentação**



Fonte: Autoria própria

Nesses cômodos, foram instaladas calhas ao longo de uma das paredes longitudinais, para receber a água de lavagem do ambiente. Essas calhas possuem drenos que escoam a água para o tanque de armazenamento da vinhaça. Nas salas de destilação, envelhecimento e estoque, utilizou-se um contrapiso de concreto sem revestimento, enquanto nas paredes, aplicou-se tinta acrílico padrão. Não foi feito o uso de calhas para drenagem da água de lavagem. Por fim, na caldeira, utilizou-se tijolo maciço refratário para suportar a elevada temperatura do local.

A Figura 29 apresenta uma imagem aérea do engenho, onde é possível visualizar a acomodação do edifício que recebe a caldeira e a moenda em relação a fábrica. A torre para expelir a fumaça ficou localizada entre a caldeira e o galpão da fábrica.

**Figura 29 - Vista aérea do Engenho São Miguel**



Fonte: Google Earth. Disponível em: <https://earth.google.com/web>

Optou-se por construir uma torre de 20 m feita com tijolinho maciço, com arquitetura inspirada no Engenho Central de Quissamã, construída no século XIX, visando agregar valor às visitas turísticas no local.

#### 4.2 O PROCESSO PRODUTIVO DA CACHAÇA NO ENGENHO SÃO MIGUEL

O processo produtivo do ESM pode ser organizado sinteticamente em seis etapas: Plantio e colheita da cana de açúcar, Moagem, Fermentação, Destilação, Armazenamento e Envasamento & Comercialização. Cada uma dessas etapas serão detalhadas.

### Etapa 1. Plantio e colheita da cana de açúcar

O Engenho São Miguel (ESM) possui uma área de cana de 30 Ha, efetuando o plantio de 20% da área a cada ano. Nessa etapa descarta-se o uso de agrotóxicos, onde o adubo utilizado é orgânico e oriundo de um subproduto da destilação, conhecido como vinhaça. A melhor época para se plantar nessa região é nos meses de março e abril. O ESM utiliza 3 variedades da planta, preocupando-se em fazer a colheita no período em que a cana está com mais sacarose. Antes da colheita, o Gerente Operacional confere o brix do caldo da cana, utilizando um refratômetro, para que, dentro do possível, seja escolhido um lote que esteja com teor de sacarose acima de 20° brix.

O corte da cana é efetuado rente ao solo, o que faz com que cada plantio possibilite 5 cortes até a sua renovação com o novo plantio. A colheita ocorre durante o período da safra, de junho a novembro. A cana é colhida manualmente, sem queima, e transportada no mesmo dia por trator e carreta agrícola do campo para a fábrica, sendo processada no prazo de 24 horas.

### Etapa 2. Moagem

Após a colheita, a cana é depositada por uma embarcadeira na plataforma de cana, que fica em local coberto ao lado da moenda. Antes de iniciar essa etapa, lava-se a moenda com o objetivo de se obter um caldo de maior qualidade. Para a moagem um funcionário fica ao lado da plataforma, colocando manualmente a cana na moenda, onde será extraído o caldo e o subproduto conhecido como bagaço. Através de uma esteira, o bagaço é conduzido para uma plataforma de armazenamento acima da caldeira, onde este subproduto será utilizado como combustível.

A partir da Figura 30, é possível observar a moenda e a esteira por onde o bagaço é conduzido com destino à caldeira.

**Figura 30 - Moenda do Engenho São Miguel**



Fonte: Autoria própria

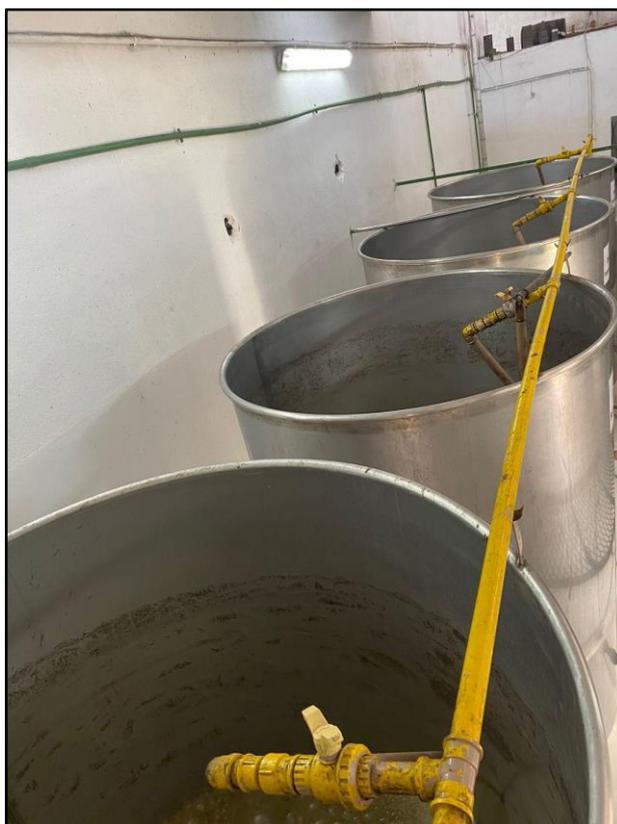
O caldo da cana segue por tubulações até o decantador, onde ele passa por um processo de filtração, para que as impurezas contidas nele sejam removidas. Após isso, o caldo é conduzido para uma dorna onde este é diluído com água para diminuir o teor de sacarose, saindo de uma faixa de 18° a 22° brix para 15° brix. Essa diluição é importante para a eficiência da fermentação, já que um caldo com teor de brix elevado gera um vinho com teor alcoólico alto. Isso causa estresse nas leveduras, diminuindo a eficiência do processo.

### Etapa 3. Fermentação

O caldo da cana diluído é transportado através do bombeamento por tubulação para as dornas de fermentação. Para essa etapa utiliza-se o fermento CA11, desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras – MG, apropriado para a produção de cachaça. Nas dornas de fermentação, o caldo entra em contato com as leveduras que no prazo de 24 horas transformam todo o açúcar do caldo da cana em álcool. A temperatura ideal para a eficiência dessa etapa é entre 28°C e 35°C. Para certificar-se de que a fermentação foi concluída, o funcionário utiliza um refratômetro e confere se o brix do caldo fermentado está zerado.

Após essa verificação, o funcionário observa se as leveduras já estão decantadas no fundo da dorna, para transferir o caldo da cana fermentado, chamado de vinho, para a dorna de espera antes da destilação. A captação para transferência de vinho da dorna de fermentação para a dorna de espera fica um pouco acima do fundo da primeira, para que as leveduras depositadas no fundo da dorna não sejam removidas, e possam ser então reutilizadas na fermentação do próximo caldo de cana. A figura 31 apresenta as dornas de fermentação.

**Figura 31 - Dornas de fermentação do caldo da cana**



Fonte: Autoria Própria.

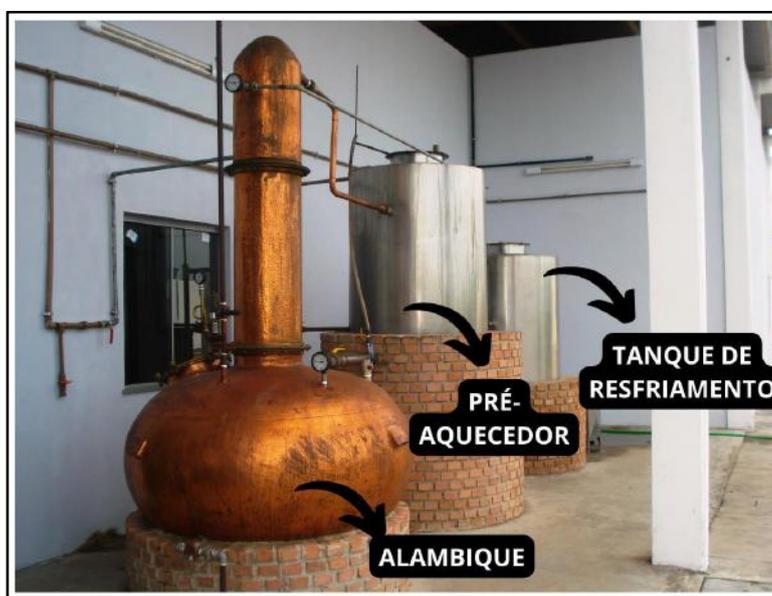
#### Etapa 4. Destilação

Ao concluir a fermentação, o vinho é transferido para uma dorna de espera onde será armazenado. Em seguida o vinho é transferido para o pré-aquecedor que alimenta o alambique, equipamento que faz a destilação da cachaça. O alambique possui uma serpentina no seu interior por onde circula o vapor gerado pela queima do bagaço, aquecendo o vinho e fazendo com que os álcoois da cachaça evaporem na temperatura em torno de 94°C, subindo até a região superior do alambique, chamada capelo. Essa região possui uma pequena serpentina por onde circula água fria, promovendo a queda da temperatura para aproximadamente 75°C, condensando a cachaça.

A cachaça, ainda aquecida precisa ser resfriada para que possa ser armazenada. Para isso, ela passa por uma serpentina no pré-aquecedor, aquecendo o vinho que irá alimentar o alambique para a próxima batelada, promovendo uma troca de calor interessante ao processo. Após o pré-aquecedor, a cachaça com aproximadamente 60°C passa por uma serpentina no tanque de resfriamento, onde há troca de calor com a água fria. Sua temperatura é reduzida para aproximadamente 45°C, estando pronta para o armazenamento.

A água aquecida nesse processo, é transferida por gravidade através de uma tubulação para um trocador de calor, que promove a redução de sua temperatura de 45°C para aproximadamente 30°C. Essa água resfriada é então transferida para a caixa d'água que abastece a fábrica, gerando uma economia no consumo. A imagem xx demonstra o alambique, o pré-aquecedor e o tanque de resfriamento.

**Figura 32 - Alambique, pré-aquecedor e tanque de resfriamento do ESM**



Fonte: Aatoria Própria.

Antes do armazenamento da cachaça, o operador do alambique separa os 10% iniciais e os 10% finais da destilação, chamados de cabeça e cauda, para serem conduzidos para a coluna de destilação de etanol. Essas partes possuem álcoois indesejáveis à qualidade do produto, não sendo então utilizadas para a produção da cachaça. Outro subproduto desse processo é a vinhaça, que é o líquido que sobra da destilação do vinho. Na parte inferior do alambique, há um registro que é aberto após a destilação para drenagem da vinhaça, conduzindo-a por tubulação para um tanque de armazenamento. Este local recebe também, pela mesma tubulação, a água de lavagem da fábrica, diluindo a vinhaça. Essa mistura é

utilizada na fertirrigação da cana, servindo como adubo orgânico e evitando o descarte impróprio da vinhaça que é altamente poluente.

#### Etapa 5. Armazenamento

Concluída a destilação, a cachaça é conduzida para tonéis de inox, onde ficará descansando por cerca de 90 dias, para que a bebida fique mais suave. Após esse período, a cachaça é destinada aos barris de madeira para envelhecimento. O Engenho São Miguel utiliza barris de quatro tipos de madeira distintos: Amendoim, Bálsamo, Carvalho e Cerejeira. Cada madeira confere um sabor diferente à cachaça, possibilitando ao Engenho a elaboração de produtos distintos. A Figura 33 mostra a sala de envelhecimento da cachaça

**Figura 33 - Sala de envelhecimento da cachaça**



Fonte: Autoria Própria.

A sala de envelhecimento abriga um barril de Bálsamo de 60.000 L, um barril de Amendoim de 1.800 L, 30 barris de Carvalho de 200 L, e três barris de Cerejeira, sendo um de 5.000 L e dois de 750 L. O período de envelhecimento no Engenho São Miguel varia de

acordo com o produto. A cachaça armazenada no barril de amendoim envelhece por 3 meses, a armazenada no barril de bálsamo descansa por um ano, a armazenada no barril de carvalho envelhece por dois anos e a armazenada em barris de cerejeira envelhece por um ano.

#### Etapa 6. Envasamento e comercialização

Essa etapa é realizada por demanda, de acordo com os pedidos. Para o envase, as cachaças são transferidas de seus respectivos barris para uma caixa de armazenamento de inox, acima da envasadora. Nesse equipamento, a cachaça desce por gravidade, para alimentar os oito bicos de enchimento das garrafas. Esses bicos são regulados para abastecer as garrafas no volume exato e, portanto, evitar desperdício da bebida. A Figura 34 representa o equipamento utilizado para o envase da cachaça.

**Figura 34 - Envasadora de cachaça**



Fonte: Autoria própria

As garrafas utilizadas pelo engenho são de 700 ml, 160 ml e 50 ml. Após essa etapa, as garrafas são vedadas manualmente com tampas de metal, e em seguida são rotuladas. Os

rótulos possuem as informações do produto, bem como a marca da cachaça 7 Engenhos, que são diferenciados pelos seus respectivos barris. Após a conclusão dessa etapa, as garrafas são acondicionadas em caixas de papelão, contendo doze garrafas. Este produto fica armazenado na sala de estoque, aguardando a coleta da transportadora para seguir para a comercialização.

Após contextualizar o processo produtivo do ESM detalhadamente, o tópico 4.3 apresenta as atividades relacionadas à circularidade do negócio.

### 4.3 ESM E ECONOMIA CIRCULAR

Ao longo do fluxo de produção da cachaça, alguns subprodutos são gerados e, caso não sejam reaproveitados da maneira correta, viram resíduos que podem afetar negativamente o meio ambiente. O Engenho São Miguel adota diversas práticas ao longo das etapas com o objetivo de inserir esses subprodutos no fluxo de produção, reduzindo os desperdícios, os prejuízos ao meio ambiente, além de gerar economia à empresa. Essas práticas são demonstradas de forma separada, conforme cada etapa geradora do respectivo subproduto.

#### Plantio

A produção da cana de açúcar pelo Engenho São Miguel não utiliza como adubo nenhum produto químico, como agrotóxicos e fertilizantes. As práticas culturais utilizadas não afetam o meio ambiente, como por exemplo, a capina que é feita manualmente com enxada e a adubação, que é orgânica.

#### Moagem

O subproduto dessa etapa é o bagaço da cana. O mesmo é utilizado como combustível, sendo queimado na caldeira para geração de vapor. Atualmente, o Engenho São Miguel produz cerca de 70.000 litros de cachaça por ano, o que dá em média um consumo de 700 toneladas de cana. Essa quantidade de cana, ao passar pela moagem, gera cerca de 350 toneladas de bagaço. Segundo o Sócio-Diretor, 70% dessa quantidade é utilizada na caldeira, onde os 30% restantes ficam como excedente, não sendo atualmente reaproveitados.

#### Fermentação

Nesta etapa, utiliza-se o fermento para a transformação do açúcar do caldo da cana em álcool. Quando a eficiência do processo diminui, com a fermentação demorando mais do que 24 horas, o fermento é trocado. O material descartado é congelado para ser utilizado como alimento dos próximos fermentos, quando é necessário acelerar a fermentação.

## Destilação

A etapa da destilação é a mais complexa do processo produtivo da cachaça e resulta em alguns subprodutos que podem ser reutilizados ou reaproveitados, evitando perdas no processo. Estes podem ser subdivididos em: reutilização da água para resfriamento da cachaça, fertirrigação da vinhaça e produção do etanol a partir da cabeça e cauda.

Reutilização da água para resfriamento da cachaça: Como descrito anteriormente, nesta etapa há um consumo significativo de água fria para o resfriamento da cachaça. O Engenho São Miguel adotou uma abordagem sustentável para reduzir esse consumo, implementando um sistema de circuito fechado de água de refrigeração, utilizando um eficiente trocador de calor. Esse sistema é capaz de resfriar a água que chega do tanque de resfriamento da cachaça, reduzindo sua temperatura de aproximadamente 45°C para cerca de 28°C.

O sistema consiste em abastecer o alambique com águas provenientes do reservatório de águas posicionado acima da caldeira, onde o fluxo d'água fria segue por tubulações até a região do campelo do alambique, que serve para refrigeração da cachaça volatilizada promovendo a sua condensação. Outra tubulação, que parte também da caixa d'água, conduz a água para o tanque de resfriamento, onde ocorre o resfriamento da cachaça para que esta possa ser armazenada.

O processo é simples e altamente eficaz, pois, após a condensação no alambique, a cachaça, que sai a cerca de 75°C, precisa ser resfriada para o armazenamento. A primeira etapa ocorre no pré-aquecedor do mosto, onde ocorre uma troca de calor entre a cachaça e o mosto, aquecendo o último e diminuindo a temperatura da cachaça. Em seguida, a cachaça com aproximadamente 60°C é transferida para o tanque de resfriamento, onde ocorre outra troca de calor, desta vez utilizando água da fábrica. Esse processo resfria a cachaça, mas aquece a água do sistema, elevando sua temperatura para cerca de 45°C. Para reutilizar essa água no sistema, é necessário resfriá-la novamente, através do Trocador de Calor.

O Trocador de Calor é um equipamento simples e eficiente responsável por reduzir a temperatura da água proveniente do tanque de resfriamento através da pulverização de gotículas de água, que passa por ventilação forçada, reduzindo a temperatura para cerca de 30°C. Essa água é bombeada de volta para a caixa d'água que abastece a fábrica, permitindo seu reaproveitamento. Esse sistema de refrigeração de água em circuito fechado resulta em uma economia de aproximadamente 10.000 litros de água por dia na época da produção.

Fertirrigação da vinhaça: A vinhaça é o subproduto da fabricação da cachaça que é utilizada pelo ESM na fertirrigação das lavouras de cana, por ser rica em nutrientes,

principalmente em matéria orgânica e em potássio. A planta de produção de cachaça do Engenho São Miguel foi planejada para produzir em sua capacidade máxima aproximadamente 1.000 litros de cachaça por dia em 6 alambicadas (bateladas). O alambique utilizado tem a capacidade de receber 1.000 litros de vinho por vez, onde a cada alambicada produz-se cerca de 170 litros de cachaça e 830 litros de vinhaça. Portanto, a estimativa de produção de vinhaça por dia é de aproximadamente 5.000 litros.

Após a finalização da produção de cada batelada de cachaça, abre-se o registro de drenagem do alambique e a vinhaça será conduzida por um duto até o depósito de armazenamento e diluição de 414 m<sup>3</sup>, que fica a cerca de 200 m da fábrica, estrategicamente localizado junto a plantação de 30 hectares de cana de açúcar da Fazenda São Miguel. O depósito de vinhaça foi dimensionado para receber com folga 150.000 litros do efluente mais 150.000 litros de água para diluição, que será a mesma água utilizada no processo de lavagem da fábrica, que também está estimado em 5.000 litros diários na época de produção, totalizando 300.000 litros de vinhaça diluída em água na proporção 1x1. Essa capacidade de armazenagem é suficiente para atender 30 dias de produção da fábrica.

Foi planejado para ser feito a distribuição da vinhaça nos canais da área adjacente ao tanque de armazenagem e diluição, utilizando o equipamento de irrigação por aspersão tipo canhão, Turbomac 90, da Irrigabrazil, que o Engenho São Miguel possui, cujo a vazão é de 75.000 litros por hora. Portanto, serão necessárias 4 horas de funcionamento deste equipamento por mês, para esgotar o tanque de vinhaça. Foi planejado que após os primeiros 15 dias de funcionamento da fábrica, tempo suficiente para o resfriamento da vinhaça produzida, o tanque de armazenagem e diluição tenha cerca de 150.000 litros de vinhaça diluída em água de lavagem da fábrica, na proporção de 1x1. Dessa forma, o equipamento Turbomac é capaz de realizar a distribuição do efluente em 2 horas, repetindo a operação a cada 15 dias.

Segundo o Sócio-Diretor, que é engenheiro agrônomo, a quantidade máxima de vinhaça que pode ser aplicada por hectare de cana por ano é de 200.000 litros, ou 400.000 litros de vinhaça diluída em água, na proporção 1x1. Como o engenho possui capacidade de produção de 150.000 litros de cachaça por ano, a quantidade de vinhaça gerada nesse período será de aproximadamente 750.000 litros. Portanto, para se consumir todo efluente produzido pelo alambique serão necessários 3,75 hectares de cana, levando em consideração a quantidade máxima que pode ser utilizada por hectare.

Como a área de cana da Fazenda São Miguel, vizinha ao tanque de armazenagem e diluição da vinhaça é de 30 hectares, o descarte deste efluente será bastante viável, de modo a

não saturar o solo com o produto, já que a área total de cana é cerca de 8 vezes maior do que a necessidade.

Produção de etanol a partir da cabeça e cauda: Como mencionado anteriormente, as partes da cachaça conhecidas como cabeça e cauda não são aproveitadas para o consumo, devido a presença de álcoois e aldeídos indesejáveis que prejudicam o aroma e sabor da bebida. Dessa forma, esses resíduos são um problema para o produtor, pois além do desperdício na produção gera o problema do descarte correto, ou seja, sem agredir o meio ambiente.

O alambique do Engenho São Miguel possui capacidade de produzir 150.000 litros de cachaça por safra. Portanto, a produção estimada de cabeça e cauda, que somados representam 20% da produção de cachaça, será de 30.000 litros por ano. Esse volume de cabeça e cauda, após a conversão para etanol hidratado, resultará em cerca de 15.000 litros.

O processo de produção do etanol envolve várias etapas: primeiro, o líquido resultante da destilação da cachaça é armazenado e passa por uma homogeneização em um tanque pulmão. Em seguida, ele é bombeado para o pré aquecedor a vapor da coluna A, onde é aquecido continuamente em forma de cascata no interior da coluna. Os gases alcoólicos gerados na coluna A são direcionados para a base da coluna B, onde passam por evaporação e retificação. Esses gases são então enviados para o condensador 01.

Os líquidos destilados retornam para a bandeja 42 da coluna B e o álcool selecionado é direcionado para o topo da coluna B, na bandeja 45, seguindo para o condensador 02. Após isso, o etanol é encaminhado para a saída final no painel, onde é controlado por um alcoômetro e depositado em uma caixa seletora de aço inoxidável. Por fim, o etanol passa por um processo de bombeamento para o armazenamento final.

Nesse processo, é possível observar a transformação do líquido oriundo da destilação da cachaça em etanol. Ele passa por uma série de etapas, incluindo homogeneização, pré-aquecimento, aquecimento na coluna A e posterior encaminhamento dos gases alcoólicos para a coluna B. A retificação ocorre nesta coluna, seguida pelo condensamento dos gases alcoólicos no condensador 01. Os líquidos destilados retornam para a coluna B, enquanto o álcool selecionado é direcionado para o topo da coluna B, passando pelo condensador 02 antes de chegar à saída final.

Nesse ponto, o etanol é controlado por meio de um alcoômetro e depositado em uma caixa seletora de aço inoxidável, onde passa por seleção e controle de qualidade. Por fim, o etanol é bombeado para o armazenamento final, concluindo o processo de produção. Dessa forma, o Engenho São Miguel além de dar um destino ambientalmente correto a um resíduo

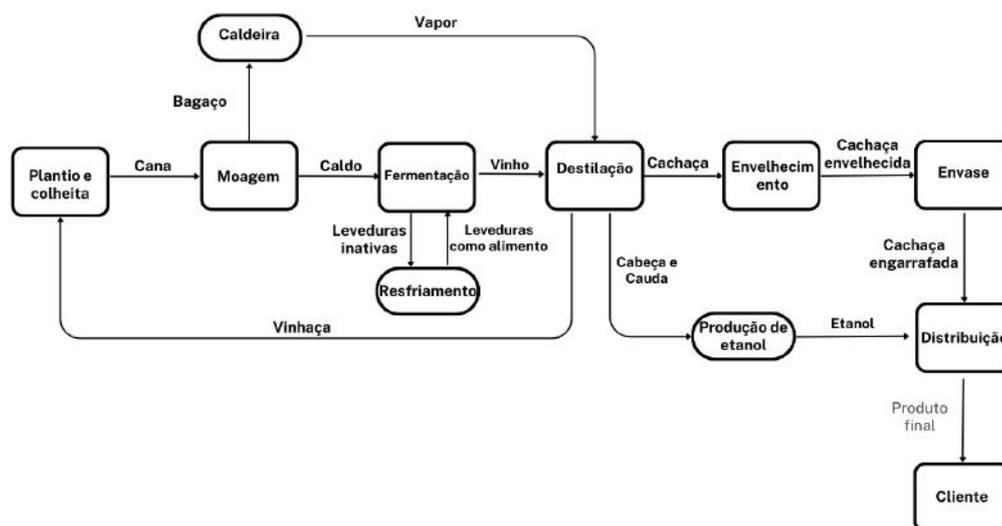
da sua produção agroindustrial, gerando um combustível ecologicamente correto, reduz os gastos com combustível, já que o etanol produzido é utilizado pelos carros da fábrica.

#### Envase e comercialização

Nesta etapa, a cachaça pronta para consumo é engarrafada, rotulada e acondicionada em caixas de papelão que cabem 12 garrafas, para que possa então ser comercializada. O produto pronto é enviado aos clientes por meio de distribuidores, onde as garrafas, tampas, rótulos e caixas não retornam para a fábrica, não sendo, portanto, reutilizadas.

O fluxo operacional do Engenho São Miguel é demonstrado na Figura 35, destacando as etapas nas quais os subprodutos são gerados e posteriormente utilizados.

**Figura 35 - Fluxo de Produção do Engenho São Miguel**



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4 MODELO DE NEGÓCIOS CIRCULARES: PROPOSTA PARA O ESM

A partir da exploração do processo e fluxo de produção do Engenho São Miguel por completo, é possível propor algumas práticas que permitem ampliar a circularidade desse modelo de negócio. Para isso, foram utilizadas as ferramentas propostas pelo *Circular Economy Business Modelling* (2020), conforme apresentadas no tópico 2.2.1.1.

#### 4.4.1 Identificação de atividades circulares

A partir da primeira ferramenta indicada pelo guia (Figura 1) o Scanner de Estratégias Circulares, e da análise do fluxo de produção e atividades exercidas pelo Engenho São Miguel, foram atribuídas notas de 1 a 6 de forma qualitativa para as respectivas estratégias circulares, considerando as práticas já adotadas pela empresa. Dessa forma, elaborou-se o Quadro 3, com as estratégias indicadas, a nota para cada uma delas e o respectivo comentário.

**Quadro 3 - Scanner de Estratégias Circulares do Engenho São Miguel**

Estratégia	Nota	Justificativa
Repensar e Reconfigurar	5	Para esta estratégia, aplicou-se a nota 5 considerando que o modelo de negócios atual é repensado e reconfigurado constantemente pela empresa. As análises de mercado e do processo produtivo, gerou mudanças significativas no engenho, como por exemplo, a paralisação da produção de açúcar. Entretanto, algumas ações, como acordos de recompra, por exemplo, devem ser repensadas pela empresa.
Reinventar	1	Para esta estratégia, aplicou-se a nota 1 considerando que embora a empresa adote diferentes ações circulares em seu processo produtivo e com resultados satisfatórios, não foi observado nenhuma inovação que reinvente o modelo de negócios.
Restaurar, reduzir e evitar (Matérias primas e Abastecimento)	6	Para esta estratégia, aplicou-se a nota 6 considerando que durante o processo produtivo, a empresa não considera o uso de agrotóxicos, além de usar materiais recicláveis e renováveis.
Restaurar, reduzir e evitar (Fabricação)	5	Para esta estratégia, aplicou-se a nota 5 considerando que durante o processo de fabricação, diversos cuidados são tomados quanto à matéria prima, geração de subprodutos e seus aproveitamentos, bem como relacionados ao reaproveitamento da água. Nota-se, porém, que há excedente de bagaço inutilizado e ausência da utilização de energias sustentáveis na fábrica.
Restaurar, reduzir e evitar (Uso e operação do produto)	4	Para esta estratégia, aplicou-se a nota 4 considerando que o produto tem duração por tempo indeterminado. Quanto aos consumos, vale sinalizar alto consumo de água, embora a maior parte seja reaproveitada, também é observado um alto consumo de energia, sem utilização de fontes renováveis.
Recircular peças e produtos	6	Para esta estratégia, aplicou-se a nota 6 considerando que os equipamentos utilizados na fábrica, como moenda, alambique, dornas de fermentação, entre outros, passam por reformas periódicas, para que sua durabilidade seja ampliada. Além disso, produtos gerados no processo são reutilizados para outros fins, como por exemplo para a produção de etanol.

Recircular materiais	2	Para esta estratégia, aplicou-se a nota 2 considerando que atualmente, os materiais utilizados para a confecção do produto final, como garrafas de vidro, tampas e rótulos, são pouco reutilizados pelo engenho. Neste sentido o produto chega até o cliente e não há preocupação com o que ocorre com os insumos após o seu consumo.
----------------------	---	---

Fonte: Autoria própria.

A partir da análise do Quadro 3, foi possível identificar a falta de circularidade em alguns pontos chaves. Percebe-se que a empresa, atualmente, não utiliza todo o bagaço gerado no processo produtivo. Além disso, não se realiza acordos de recompra, não realiza ações para reaproveitar as garrafas, tampas e rótulos, além de não adotar fontes sustentáveis para a geração de energia elétrica na fábrica.

Com isso, propõe-se ações justamente nos tópicos identificados:

- Quanto ao bagaço excedente, é possível utilizá-los como adubo no plantio da cana.
- Pode-se relacionar o acordo de recompra com o reaproveitamento dos materiais utilizados no produto (garrafa, tampa e rótulo), pensando em estratégias de preços menores para aqueles clientes que devolverem os insumos no ato de uma compra posterior.
- Além disso, pode-se analisar a viabilidade de implantar um sistema de energia solar para geração de energia elétrica na fábrica, a fim de utilizar uma fonte sustentável.

Com base nas sugestões previamente definidas, o *Circular Economy Business Modelling (2020)* indica a utilização da Matriz SWOT para analisar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças dessas novas atividades. Essa matriz, apresentada no Quadro 4, foi elaborada pensando nas três ações propostas: utilização do bagaço excedente, reaproveitamento das garrafas de cachaça e instalação do sistema solar para geração de energia.

**Quadro 4 - Matriz SWOT**

Forças	Fraquezas
Reconhecimento da marca no mercado	Alto investimento inicial

<p>Espaço suficiente para a instalação do sistema de energia solar</p> <p>Espaço para desenvolvimento de novas práticas recicláveis</p> <p>Boa estrutura de prestadores de serviço para logística</p> <p>Existência de equipamentos adequados para possibilitar a reutilização</p> <p>Experiência na produção de adubo orgânico</p>	<p>Falta de-experiência no controle da logística reversa</p>
Oportunidades	Ameaças
<p>Selo de produto orgânico</p> <p>Prática de garrafas retornáveis já adotadas por marcas do ramo de bebidas</p> <p>Diversidade de empresas do ramo de energias renováveis na região</p> <p>Fortalecimento da marca junto ao consumidor</p> <p>Redução dos gastos com insumos</p>	<p>Conscientização dos parceiros</p>

Fonte: Autoria própria.

#### 4.4.2 Proposta do Modelo de Negócio Circular para o ESM

Após as primeiras análises, é necessário pensar como o modelo de negócios funcionará. Para isso, o guia indica a utilização da ferramenta Modelo de Negócios da Economia Circular, como o apresentado na Figura 3. Esta ferramenta permite refinar a proposta de valor, indica quais clientes e usuários serão alcançados, além de ações que viabilizem a sua implementação. Dessa forma, foi elaborado o Quadro 5, com as informações necessárias.

**Quadro 5 - Modelo de Negócio da Economia Circular do Engenho São Miguel**

Tópico	Descrição
1. Benefícios sistêmicos	Com as ações propostas, o fluxo de produção será fechado, resultando na circularidade total do processo. Além disso, com a geração limpa de energia e a reutilização das garrafas, a empresa estará contribuindo para o meio ambiente, reduzindo a emissão de gases poluentes e geração de resíduos. Com a utilização do bagaço como adubo orgânico no plantio da cana, haverá um aumento de produtividade do canavial.
2. Proposta de valor	Os clientes estarão recebendo um produto de qualidade, que utiliza atividades sustentáveis em todo o seu processo produtivo. Além disso, com a redução do custo dos insumos, os clientes poderão pagar mais barato pelo produto da empresa.
3. Clientes e usuários finais	Os clientes se diferenciam em On Trade e Off Trade, onde no primeiro o cliente consome o produto no próprio estabelecimento, como bares e restaurantes, e no segundo quando o cliente consome o produto fora do estabelecimento, como supermercados e lojas de bebidas. Num primeiro momento os clientes e alvos finais, que serão influenciados na ação da reciclagem de garrafas, são os On Trade, devido a viabilidade.
4. Valor entregue	Os clientes e usuários terão benefícios financeiros, já que terão descontos no produto retornável, além de reduzir o acúmulo de resíduos em seus estabelecimentos. Pode-se destacar também que a divulgação dessa ação beneficiará também a imagem desses estabelecimentos, junto aos fregueses.
5. Ofertas	O produto oferecido pela empresa precisa ser durável, como garrafa e rótulo, para que possa retornar em boas condições para o reaproveitamento. Será necessário o treinamento dos prestadores de serviço para realizar a logística reversa, e dos funcionários do engenho para realizar o controle e reciclagem dos insumos. Para a energia solar, será necessário identificar os fornecedores e instaladores dos equipamentos e avaliar as propostas. Para o bagaço, será necessária realizar abertura de trincheiras, para armazenar o bagaço e a vinhaça para a compostagem.
6. Fontes de receita	Ampliação do número de clientes, já que as ações propostas reduzirão os custos, diminuindo o preço para o cliente, possibilitando um aumento da competitividade no mercado. Além disso, ações de marketing relacionadas a sustentabilidade possibilitarão chamar a atenção de clientes ligados as causas ecológicas.
7. Entrega de valor	Será necessário a utilização de uma plataforma de controle compartilhado entre a empresa e os clientes On Trade, para controle do material reciclado e do desconto que será oferecido ao cliente.
8. Criação de valor	Quanto à reciclagem de garrafas, será necessário a utilização de um programa para controle dos insumos retornados por cada cliente. Além disso, será necessário a identificação de um prestador de serviço que faça a logística reversa. Para a energia sustentável, será necessário identificar uma empresa que forneça os equipamentos e faça a instalação do sistema de energia solar. Para o bagaço, será necessário contratar um serviço de retroescavadeira para cavar as trincheiras.

9. Rede	Os principais parceiros e colaboradores são os clientes On Trade, prestadores de serviço e uma instituição financeira que possa fazer o financiamento para o investimento nos equipamentos da energia solar.
10. Valor compartilhado	Para os clientes os principais benefícios seriam a redução dos custos e de resíduos gerados. Além disso, seriam oferecidos novos serviços aos prestadores, gerando emprego e renda.
11. Estrutura de custos	A empresa entende que o custo inicial com energia solar é elevado, mas que seu retorno financeiro é relativamente rápido. Existe grande oferta de linhas de crédito para financiamento deste investimento e a amortização do empréstimo são em parcelas com valores mais baixos do que o que a empresa paga atualmente com energia elétrica. Para a utilização de garrafas retornáveis, a empresa entende que teria um novo gasto significativo com a logística reversa, mas que ao mesmo tempo, resultará numa grande economia da aquisição de insumos. Quanto a utilização do bagaço para compostagem, a empresa entende que o custo para a abertura de trincheira é baixo, e o seu retorno é positivo, já que aumenta a produção da cana.
12. Opções de financiamento	A empresa entende que apenas para a implantação do sistema de energia solar será necessário buscar linhas de crédito para o investimento, e que existem várias instituições financeiras que disponibilizam financiamentos nesse sentido.

Fonte: Autoria própria

A partir da análise do Quadro 5, verificou-se que as ações propostas buscam tornar o modelo de negócios ainda mais circular, com a utilização do bagaço excedente como adubo orgânico no plantio da cana, com a geração de energia solar no Engenho e com o reaproveitamento das garrafas de clientes específicos. Com isso, benefícios serão gerados, como por exemplo a redução da emissão de gases poluentes, aumento da eficiência do plantio de cana, além da redução da quantidade de resíduos gerados. Essas ações trarão não só benefícios para a empresa, como para os usuários finais e para a sociedade.

Percebe-se que para cada uma das propostas, avaliou-se maneiras para que estas pudessem ser implementadas. Para o reaproveitamento do bagaço, será necessário a abertura de uma trincheira, revesti-la com lona de plástico, para receber o bagaço excedente junto com parte da vinhaça, que formarão o adubo orgânico. Para a implantação do sistema de energia solar na fábrica, será necessário analisar as propostas de fornecedores e instaladores do ramo, afim de avaliar qual terá o melhor custo benefício. Por fim, para o reaproveitamento das garrafas de cachaça, verificou-se que será necessário a implementação de uma logística reversa, que será responsável pelo recolhimento desses materiais junto aos clientes *On Trade*, além de utilizar um sistema de controle compartilhado entre a empresa, a logística e o cliente, a fim de controlar a quantidade que está sendo reciclada e informar o desconto que será dado.

Verificou-se que essas implementações resultarão em novos custos à empresa. A implementação do sistema de geração de energia solar é ação que terá o maior gasto inicial, a

qual avaliou-se, que para sua viabilidade, será necessário buscar linhas de crédito para esse investimento, mas que a oferta para esse tipo de financiamento é grande. Quanto ao reaproveitamento das garrafas, essa ação resultará em um novo custo para a empresa com a logística reversa, porém entende-se que o retorno desses materiais para o engenho trará uma economia significativa na compra de novos insumos. Por fim, para a utilização do bagaço excedente, a empresa entende que os gastos gerados com essa ação são pequenos, e não atrasariam sua implementação. Dessa forma, percebe-se que, apesar dos novos gastos gerados à empresa, o retorno financeiro que as novas ações podem proporcionar será rápido e lucrativo. O Apêndice A contém um quadro resumindo os aspectos para essa proposta.

#### **4.4.3 Plano da Gestão de Impacto para a proposta**

Após refinar a proposta de valor, e avaliar a implementação das novas ações, o *Circular Economy Business Modelling (2020)* indica gerenciar essas mudanças propostas, observando o desempenho de cada atividade e a forma como os clientes estão lidando com elas.

Para a utilização do excedente do bagaço de cana como adubo orgânico, pode ser realizada uma análise experimental, na qual o Sócio-Diretor junto ao Gerente de Operação, verificarão a produtividade do plantio, avaliando se a quantidade de tonelada de cana por hectare aumentou. Para uma análise mais científica, indica-se contratar o serviço de laboratórios de análise de solo, para verificar se o teor de matéria prima no solo aumentou após a nova atividade. Esse tipo de análise já foi realizado diversas vezes nos canaviais da Fazenda São Miguel e é frequentemente utilizado por produtores de cana.

Quanto ao desempenho do sistema de geração de energia solar, este normalmente é fornecido pela empresa que fez a instalação. Ao instalar o sistema, a empresa costuma fornecer um aplicativo ou um site aos clientes para acompanhamento em tempo real da energia que está sendo gerada. Além disso, também é possível verificar o desempenho observando se o desconto na conta de luz está compatível com o que foi proposto pela empresa.

Para o gerenciamento do desempenho da reutilização das garrafas de cachaça, o sistema de controle compartilhado entre a empresa, a logística e o cliente será essencial. Esse sistema deverá fornecer a quantidade de garrafas que foram retornadas pelo cliente, para então dar o desconto no próximo pedido. Assim, será possível avaliar se os pedidos aumentaram

após a redução do preço do produto, além de avaliar se a economia pelo retorno das garrafas está sendo satisfatória ao engenho.

Por fim, é necessário avaliar como os clientes receberão as mudanças propostas pelas novas ações. Quanto a utilização do bagaço da cana e a implementação da energia solar, acredita-se que serão muito bem recebidas pelos clientes, uma vez que marcas que empregam ações sustentáveis vêm sendo cada vez mais valorizadas. Para o reaproveitamento das garrafas de cachaça, acredita-se que os clientes que serão influenciados diretamente por essa ação, que são os bares e restaurantes, não terão dificuldades em colaborar com o retorno das garrafas, uma vez que essa atividade resultará em preços mais baixos para os estabelecimentos, e são ações já praticadas por eles em parceria com cervejarias. O Apêndice B contém um quadro resumindo as ações para essa etapa.

## **5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

A partir da análise dos resultados, foi possível observar o contexto do Engenho São Miguel, desde seu projeto e estrutura, até todo o fluxo e métodos de produção. Conforme De Souza (2017), a fábrica foi projetada com o objetivo de facilitar o fluxo de produção, com cada compartimento sendo dimensionado e posicionado de acordo com suas funções. Foi observado neste sentido, que as salas apresentam pé direito alto, com iluminação adequada em quase todas as áreas, com exceção da sala de estoque da cachaça, onde as paredes possuem cor vermelho escuro, o que prejudica sua luminosidade. O autor indica também o uso de tinta epóxi nas paredes das salas, o que é aplicado nas salas de decantação, de produção de açúcar, expedição, fermentação e envase. Os pisos de todos os cômodos são antiderrapantes e foram construídos com declividade para facilitar a drenagem durante a limpeza. Entretanto, nas salas de estoque de cachaça e de estoque de açúcar o piso é menos resistente e não é impermeável como nos demais cômodos. As janelas presentes na fábrica atendem os requisitos propostos por De Souza (2017), com telas de proteção contra insetos e peitoril inclinado para evitar o acúmulo de poeiras.

Quanto à estrutura, percebe-se a utilização de galpões de concreto pré-moldado, que é muito utilizado em indústrias de diferentes setores, inclusive o agrícola (QUEIROS, 2007). A escolha por esta estrutura se deu por conta das vantagens financeiras, de execução e pela flexibilidade arquitetônica, conforme citado por De Paula (2016), Cebeu *et al.* (2021) e Júnior (1996). Além disso, a pesquisa mostrou que, com base na percepção dos gestores, uma importante vantagem estava relacionada ao menor quantitativo de entulhos gerados, o que

facilitou a limpeza do ambiente, indo ao encontro das indicações propostas por Cebeu *et al.* (2021).

O sistema utilizado no galpão foi baseado em um esqueleto resistente com a presença da fundação, pilares e vigas, constituindo os pórticos, além dos pilares de fechamento e vigas de travamento, compondo o restante do galpão (SANTOS, 2010). Os fechamentos laterais foram construídos com a utilização de blocos de concreto, enquanto na cobertura utilizou-se telhas metálicas, conforme citado por Queiros (2007) e Santos (2010). Além disso, observou-se que os pórticos que constituem os galpões possuem pilares engastados na fundação e viga simplesmente apoiada nos pilares. Segundo Júnior (1996), essa é uma forma mais econômica e de fácil montagem, sendo frequentemente utilizada.

Quantos as ligações entre as estruturas, a viga está associada aos pilares por meio de chumbadores, permitindo a transferência das forças horizontais de um elemento para o outro. A ligação entre pilar e fundação é a aparafusada, com a utilização de chapas de base soldadas à armadura longitudinal do pilar, sendo posteriormente parafusadas nos chumbadores fixados na base da fundação, conforme citado por Acker (2002). Como os pórticos do galpão estudado apresentam apenas uma viga, não houve a presença de ligação viga-viga.

Analisando o fluxo e as etapas de produção da cachaça pelo Engenho São Miguel, observou-se que o empreendimento segue o padrão apresentado pela literatura, conforme Maciel *et al.* (2021), EMBRAPA (2022), De Oliveira (2010), Farias e Silva (2020), Vilela (2005), Santos, (2021), Ramos e Gonçalves (2018), Schoeninger; Coelho; Silochi (2014), Liz *et al.* (2016), Macena (2021). As etapas de filtração, decantação e diluição do caldo foram apresentadas junto a etapa de moagem, já que na fábrica essas etapas são interligadas. Na etapa da destilação, observou-se uma prática interessante ao processo produtivo, adicional às apresentadas por Liz *et al.* (2016), Santos (2021), Macena (2021), Maciel *et al.* (2021), Embrapa (2022), como o resfriamento da cachaça no pré-aquecedor. Notou-se que o local, que armazena o vinho para a próxima alambicada, possui uma serpentina por onde passa a cachaça aquecida. Num processo de troca de calor, a cachaça é resfriada e o vinho é previamente aquecido, o que facilitará a alambicada seguinte. Notou-se que após a destilação, o Engenho São Miguel deixa a cachaça descansando por um período de aproximadamente noventa dias, o que também foi indicado por Oliveira (2010).

Quanto às atividades relacionadas à economia circular durante o processo produtivo da cachaça, notou-se que o que é praticado pelo Engenho São Miguel nas etapas de plantio e colheita, moagem e fermentação, condizem com o proposto por Maciel *et al.* (2021), Oliveira (2010), Santos (2021) e Farias e Silva (2020). Vale ressaltar que na etapa de moagem,

observou-se que no ESM nem todo o bagaço gerado é utilizado como combustível na caldeira, havendo um excedente desse subproduto.

Para a etapa da destilação, notou-se que a utilização da vinhaça na fertirrigação da cana, proposto por Maciel *et. al.* (2021), e o aproveitamento do cabeça e cauda para a produção de etanol, por Ramos e Gonçalves (2018), são atividades aplicadas no ESM. Por outro lado, Farias e Silva (2020) propõe a utilização do álcool proveniente da cauda como produto de limpeza na fábrica, o que não ocorre no ESM já que este subproduto é totalmente destinado à fabricação de etanol. Além disso, o mesmo autor destaca que reaproveitar a água usada para a condensação da cachaça traz economia significativa para a fábrica. Essa atividade foi observada no ESM, onde também é reaproveitada a água para resfriamento da cachaça, aumentando ainda mais o percentual de água reaproveitada.

Na etapa de engarrafamento, Ramos e Gonçalves (2018) destacam a importância da utilização de garrafas retornáveis para fornecimento do produto, permitindo a reutilização deste insumo, reduzindo a quantidade de resíduos gerados e trazendo economia para o cliente e para o fabricante. O Engenho São Miguel faz uso de garrafas que podem ser reaproveitadas, porém notou-se a ausência de atividades que estimulem os clientes a retornarem as garrafas, fazendo com que essa ação circular ocorra com uma frequência muito baixa.

Além das ações circulares envolvidas nas etapas que compõem o processo produtivo de cachaça, Farias e Silva (2020) apontam que o uso de energias renováveis na fábrica, como a eólica ou solar, é importante para a circularidade do modelo de negócio. Notou-se que nenhuma das opções é atualmente realizada pelo ESM.

Sendo assim, existem alguns gargalos durante o processo produtivo da cachaça no engenho em questão. Por exemplo, há um excedente de bagaço inutilizado, faltam ações para estimular o retorno das garrafas e ausência do uso de energias renováveis. É justamente visando contornar esses gargalos que a proposta para implementação das novas ações foi construída. A partir das ferramentas descritas no *Circular Economy Business Modelling (2020)*, a proposta mapeia os processos que podem ser aplicados no engenho para que o modelo de negócio funcione da maneira mais circular possível. Os processos também são compatíveis com os objetivos da economia circular propostos por Suárez-Eiroa *et. al.* (2019), pois minimizam as entradas de matérias primas e saídas de resíduos, busca manter o máximo de valor do recurso pelo maior tempo possível, e reintegrar produtos em processos ao fim de sua vida útil. O resultado final seria redução dos custos com a matéria prima e os desperdícios (KORHONEN, HONKASALO e SEPPÄLÄ, 2018).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo propor um modelo de negócio circular para um engenho produtor de cachaça. Com isso, todas as etapas do processo produtivo, bem como o projeto do engenho, foram analisadas para tecer as estratégias de um modelo de negócio circular, considerando a concepção do engenho, entrega dos produtos aos clientes e a gestão de resíduos. As etapas da fabricação da cachaça resultam em diversos resíduos e desperdícios. Nesse sentido, buscou-se identificar as possibilidades de mudança no modelo de negócios, com base nos princípios da economia circular, a fim de desenvolver um modelo de produção eficiente e fechado. Esse modelo deve trazer benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a produtividade, para a qualidade do produto e, por conseguinte, para a economia da empresa.

Por meio do estudo bibliográfico, entende-se que a Economia Circular é uma abordagem alternativa ao sistema linear de produção, propondo um novo modelo que busca minimizar o consumo de recursos ao máximo e prolongar o ciclo de vida dos produtos. O principal objetivo deste modelo é reduzir a entrada de matérias-primas e a saída de resíduos, mantendo o valor dos recursos por mais tempo possível e reintegrando os produtos ao final de sua vida útil. Além disso, a Economia Circular visa eliminar o uso de recursos não renováveis e intensificar o uso de energias renováveis. Em termos econômicos, essa abordagem busca reduzir custos de matéria-prima e desperdícios, incentivar a inovação em novos designs de produtos e criar oportunidades de negócio através de estratégias como a facilidade de reutilização, recuperação, reparo e reciclagem de produtos.

Para cumprir os objetivos propostos, foi feito um estudo de caso no Engenho São Miguel, localizado na cidade de Quissamã-RJ. A fazenda a qual o engenho se situa, possui forte ligação com o plantio de cana de açúcar, fornecendo por mais de 100 anos essa matéria prima para o Engenho Central de Quissamã. Com o fechamento dessa fábrica, dois sócios resolveram implementar um novo engenho na fazenda, com arquitetura que valorizasse a história e cultura do local, mas com equipamentos e processos que atendessem as exigências do século XXI. Dessa forma, analisou-se qual método construtivo seria o de melhor custo benefício e de execução mais rápida, bem como qual seria o projeto da planta baixa do engenho que permitisse o melhor fluxo de operação dos processos, além da escolha dos equipamentos e etapas que seriam realizadas no engenho, com o objetivo de fornecer um produto de qualidade com produção sustentável e eficiente.

Nesse sentido, os resultados mostram que a escolha pelo método construtivo utilizando galpões em concreto pré-moldado foi bem avaliada, com custos dentro do esperado, prazo de entrega mais rápido, além de gerar menos entulhos durante a obra. A partir da análise da planta baixa do engenho, foi possível perceber que a disposição dos cômodos permite um fluxo de produção contínuo e eficiente, não havendo necessidade de alterações. Quanto aos acabamentos, o problema encontrado foi uma luminosidade ruim na sala de estoque de cachaça, por conta da tinta de cor escura usada nesse local. Dessa forma, indica-se pintar as paredes deste cômodo com tinta branca.

Em relação ao processo produtivo realizado pelo Engenho São Miguel, diversas ações sustentáveis já são implementadas pela empresa. Essas ações buscam aproveitar ao máximo os subprodutos que são gerados durante o processo, inserindo-os em diferentes etapas do fluxo de produção, bem como reaproveitar a água utilizada para condensação e resfriamento da cachaça. Essas ações, além de evitarem desperdícios, contribuem para a eficiência do processo, trazem benefícios ambientais e econômicos para a empresa. Apesar disso, em algumas etapas do processo existem perdas que não são totalmente aproveitadas ou reutilizadas, como o bagaço da cana excedente e as garrafas enviadas aos clientes. Contudo, o engenho não faz uso de energias renováveis, diminuindo a sustentabilidade do processo.

Visando garantir o modelo de negócio circular, foram propostas ações que pudessem solucionar as falhas identificadas. Todas as ações foram pensadas seguindo a literatura sobre economia circular. Sendo assim, o bagaço excedente, misturado a vinhaça, pode ser utilizado como adubo orgânico no plantio da cana. A execução dessa atividade não teria grandes empecilhos, já que o custo para a abertura do reservatório que receberia esse subproduto é baixo, e não teria dificuldades para aplicar esse adubo. Essa atividade tende a aumentar o teor de matéria orgânica no solo, melhorando a eficiência do plantio. Para avaliar a eficiência da atividade, o indicado é contratar os serviços de laboratórios de análise de solos.

Em relação a implementação de um sistema de energia solar na fábrica, é necessário avaliar diferentes propostas de empresas fornecedoras e instaladoras do equipamento, para determinar qual seria o melhor custo-benefício. Além disso, este tipo de melhoria necessita de um grande investimento inicial, porém existem linhas de crédito que estimulam esse tipo de atividade, facilitando a sua execução. No futuro, esta ação traria uma grande economia com gastos pelo consumo de energia na fábrica, sendo mais uma ação sustentável implementada pela fábrica que pode ser explorada pelo marketing da empresa, além de trazer benefícios ambientais. Cabe destacar a importância da realização de um estudo de viabilidade para

implementação dessa ação, a fim de avaliar as condições estruturais e financeiras do empreendimento, o que foge do escopo deste trabalho.

Quanto à reutilização das garrafas de cachaça, num primeiro momento, essa ação seria mais viável nos clientes chamados de *On Trade*, como os bares e restaurantes. Isso porque o contato entre o produtor e o cliente final é direto, facilitando o controle do material que será retornado. Porém, é preciso ressaltar que a empresa não tem experiência nesse tipo de atividade, sendo assim, seria necessária a implementação de uma logística reversa. Nesse sistema, os clientes receberiam desconto nas próximas compras de acordo com a quantidade de garrafa que foi retornada. A solução indicada foi a utilização de um sistema de controle compartilhado entre a empresa, a logística e o cliente, para auxiliar na transparência desta atividade. Como esta é uma atividade nova que seria desenvolvida, um ponto importante seria uma consultoria com cervejarias que já executam a ação da logística reversa, com o objetivo de executar o projeto da maneira mais eficiente e vantajosa tanto para a empresa quanto para o cliente.

A literatura sobre produção de cachaça e sustentabilidade é bastante vasta, mas ainda há poucos trabalhos que foquem especificamente na parte de economia circular dentro da produção de cachaça, sendo essa uma das limitações deste estudo. Outra limitação observada foi acerca do estudo sobre projetos de engenhos produtores de cachaça, com poucos trabalhos acerca desse tema.

Alguns aspectos que poderão ser explorados em pesquisas futuras, estão relacionados à circularidade no processo produtivo, identificando novas ações não mencionadas neste trabalho, e acerca de projetos de engenho que permitam a maior eficiência no fluxo de produção da cachaça.

## REFERÊNCIAS

ABDALLA, Fernando Antonio; SAMPAIO, Antonio Carlos Freire. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Ambiente Geográfico**, n. 15, pág. 82-102, 2018.

ACKER, Arnold Van. Manual de sistemas pré-fabricados de concreto. **Tradução: Marcelo**, 2002. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/pre-moldados/Manual%20Fib.pdf>

ANPAQ - Associação nacional dos produtores e integrantes da cadeia produtiva e de valor da cachaça de alambique. Cachaça com Notícias. Ano 13 • nº 60 • 2019. Disponível em: <https://anpaq.com.br/pdf/JornalAnpaq60.pdf>

ASTROLÁBIO – 5º Guia de Boas Práticas – Economia Circular e Sustentabilidade. ORIENTAÇÃO E ESTRATÉGIA, S.A. 2021 Disponível em <<https://masterexport.pt/wp-content/uploads/2021/07/Guia-de-Boas-Pr%C3%A1ticas-5%C2%BA-Economia-Circular-e-Sustentabilidade.pdf>>. Acessado em 31.03.2023

AZEVEDO, Esterzilda Berenstein de. Engenheiros do Recôncavo Baiano. – Brasília, DF: Iphan / Programa Monumenta, 2009.

BERARDI, Patricia; DIAS, Joana Maia. O mercado da economia circular. **GV-EXECUTIVO**, v. 17, n. 5, p. 34-37, 2018.

BONVIU, Florin. The European economy: From a linear to a circular economy. **Romanian J. Eur. Aff.**, v. 14, p. 78, 2014.

BOONS, Frank; LÜDEKE-FREUND, Florian. Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda. **Journal of Cleaner production**, v. 45, p. 9-19, 2013.

BRASIL. Anuário da cachaça 2021. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. / Secretaria de Defesa Agropecuária. MAPA/AECS, Brasília, 2022. 29 p.

CAMPOS, Vitor Hermeto Coutinho. Ganhos em sustentabilidade na industrialização: comparação entre a utilização de peças pré-moldadas de concreto e peças moldadas in loco em obras industriais na região metropolitana de Belo Horizonte. Monografia (Especialização) - Sistemas tecnológicos em Sustentabilidade aplicados ao Ambiente Construído. Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte - MG, 2012.

CEBEU, Lucas *et al.* Comparação entre estruturas de concreto tradicionais e industrializadas: análise do ciclo de vida e vantagens ambientais do uso de pré-moldados. **IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto** – UFSC – Florianópolis – maio de 2021.

CERDÁ, Emilio; KHALILOVA, Aygun. Economía circular. **Economía industrial**, v. 401, n. 3, p. 11-20, 2016.

CIRCULAR, Fundación Economía. Economía circular. **Recuperado el**, v. 15, 2017.

DE OLIVEIRA, Ana Marcia Lara. O processo de Produção da Cachaça Artesanal e sua Importância Comercial. 2011. Monografia (especialização) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

DE OLIVEIRA, Lucas Canestri; DE BRITO, Mozar José. Estratégia como prática social em um alambique de cachaça artesanal:: uma análise sob a ótica construcionista. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 13, n. 3, p. 23-37, 2019.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. Oficina de Textos, São Paulo - SP, 2017

FARIAS, Ana Paula da Silva; SILVA, Talita Aiala Paiva. OS PRINCÍPIOS DA ECONOMIA CIRCULAR E A PRODUÇÃO DE CACHAÇA ORGÂNICA. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2020.

FERRAZ, L. M. & OLIVEIRA, C. Estudo das Técnicas Construtivas da Capela do Engenho Jaguaribe, Abreu e Lima – PE. **FUMDHAMentos**, vol. XIX, n. 1. 2022, p. 117-150.

FOSTER, Allan; ROBERTO, Samanta Souza; IGARI, Alexandre Toshiro. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. **Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente**, São Paulo, 2016.

FREITAS, Monica Gondim de. História da revolta da cachaça. 1988. 204p. Trabalho de conclusão de especialização (Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1988.

GEISSDOERFER, Martin et al. Circular business models: A review. **Journal of cleaner production**, v. 277, p. 123741, 2020.

GEISSDOERFER, Martin; VLADIMIROVA, Doroteya; EVANS, Steve. Sustainable business model innovation: A review. **Journal of cleaner production**, v. 198, p. 401-416, 2018.

GERK, Andréia et. al. **200 anos \_ 200 cachaças**: a evolução da cachaça, da independência até os dias de hoje, contada em 200 rótulos. Ed: PCN Comunicação, Campinas - SP, 2022.

GOMES, Alberto Albuquerque. Estudo de caso-Planejamento e métodos. **Nuances: estudos sobre Educação**, v. 15, n. 16, 2008.

GOMES, Geraldo. Engenho e Arquitetura: morfologia dos edifícios dos antigos engenhos de açúcar de Pernambuco. **Resgate: Revista Interdisciplinar de Cultura**, v. 5, n. 1, p. 117-119, 1996.

GONÇALVES, Paola De Andrade; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. A EVOLUÇÃO DO MERCADO DE CACHAÇA ARTESANAL. **Revista Interface Tecnológica**, v. 18, n. 1, p. 343-354, 2021.

GRUBA, Marcia Cristiane. Economia circular em cervejarias artesanais: um estudo de caso à luz da transição para a sustentabilidade do sistema sociotécnico. 2020. Tese (Doutorado) Programa de Pós Graduação em Administração - Universidade Positivo, Curitiba, 2020.

GUERRA, Fernando; DA SILVA, Hilayane Barbosa Maras. A Casa-Grande dos Engenhos: Pedra, Tijolo ou Pau-a-Pique. **Revista Noctua – Arqueologia e Patrimônio**, v.14 p.37-20, 2019.

Instituto Brasileiro da Cachaça - IBRAC. Disponível em: <<https://ibrac.net/>>.

IGLESIA, Tiago Borges. Sistemas construtivos em concreto pré-moldado. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Engenharia Civil - **Universidade Anhembi Morumbi**, São Paulo, 2006.

JÚNIOR, Armando Lopes Moreno. **Aplicação da pré-moldagem na construção de galpões em concreto: exemplo de um galpão com cobertura em dente de serra**. 1992. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

JÚNIOR, Sergio dos Santos Clemente. Estudo de Caso x Casos para Estudo: Esclarecimentos acerca de suas características e utilização. **VII Seminário de Pesquisa em Turismo do Mercosul**. Carapicuíba, 2012.

KRAMER, Mark R.; PORTER, Michael. **Creating shared value**. Boston, MA, USA: FSG, 2011.

KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Antero; SEPPÄLÄ, Jyri. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological economics**, v. 143, p. 37-46, 2018.

LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015.

LIMA, E. C. F. M. ; LIMA, E. D. S. ; FERREIRA, T. C. ; FEITOSA, M. J. S. Índícios da produção mais limpa no processo de produção da cachaça Triumpho: um estudo no engenho São Pedro. In: ENGEMA, 2014, São Paulo. Anais XVI ENGEMA, 2014. p. 1-16

LIZ, Cassiano Nogueira et al. PRODUÇÃO DE CACHAÇA ARTESANAL E SEU CONTEXTO: um estudo de caso com alambiques do sul de Minas Gerais. **Revista da UI\_IPSantarém-Unidade de Investigação do Instituto Politécnico de Santarém**, p. 20-20, 2016.

MACENA, Samuel Vinícius Holanda. Acompanhamento do processo produtivo de cachaça artesanal. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró-RN, 2021.

MACIEL, Antônio Sérgio Peixoto et al. Produção de cachaça orgânica e sustentabilidade: experiências, perspectivas e desafios. In: **Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável** - Volume 4 Org. SOUSA et. al. Editora Científica Digital LTDA Guarujá - São Paulo, 2021.

MARTINS, Gilberto Andrade. Estudo de caso: uma reflexão sobre a aplicabilidade em pesquisa no Brasil. **Revista de Contabilidade e Organizações**, v. 2, n. 2, p. 9-18, 2008.

PAULA, Sóllon Marques de. Análise dos elementos de um galpão pré-moldado utilizando softwares livres. 2016. 83 f. Monografia (Graduação) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.

PHILIPPSEN, André Luiz Andreoni; SHIMOSAKA, Tobias Jun. **Estudo do efeito da cura térmica na resistência inicial do concreto para aplicação na indústria de pré-moldados de concreto**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

PIERONI, Marina PP; MCALOONE, Tim C.; PIGOSSO, Daniela CA. Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. **Journal of cleaner production**, v. 215, p. 198-216, 2019.

PIERONI, M. P. P. ; JENSEN, T. Hjort ; PIGOSSO, D. C. A. et al. / **Circular Economy Business Modelling: CIRCit Workbook 2**. Kgs. Lyngby : Technical University of Denmark, 2020. 72 p.

PINHEIRO, Paulo C.; LEAL, M. C.; ARAÚJO, DA de. Origem, produção e composição química da cachaça. **Química nova na escola**, v. 18, n. 1, p. 3-7, 2003.

QUEIROS, Luciano Oliveira Alves de. Análise estrutural de galpões pré-moldados em concreto considerando a influência da rigidez nas ligações viga-pilar. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas – Maceió, 2007

RAFAELE, Aline Ribeiro et al. Métodos construtivos em concreto pré-moldado. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 4, p. 88-97, 2019.

RAMOS, Jacqueline; GONÇALVES, Daniel Bertoli. Produção sustentável de cachaça artesanal. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

RODRIGUES, Leonardo Milani Avelar et al. Uma dose de História: cachaça de alambique e aguardente de coluna. **Perspectivas e Diálogos: Revista de História Social e Práticas de Ensino**, v. 2, n. 2, 2019.

ROJAS, Morgana Targino de Oliveira et al. Diagnóstico do ambiente construído dos engenhos, no município de Areia-PB: base para o agroturismo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande - PB 2005.

SAKAI, Rogério. Cachaça. Site: EMBRAPA, 50 anos. 2022 Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pos-producao/cachaca>

SANTOS, Andreilton de Paula. **Análise estrutural de galpões atirantados de concreto pré-moldado**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SANTOS, Angélica Borges. O processo produtivo de cachaça artesanal na comunidade rural de sítio- distrito de Brejo do Amparo- Januária (MG) - 2021..171f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

SARIATLI, Furkan. Linear economy versus circular economy: a comparative and analyzer study for optimization of economy for sustainability. **Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development**, v. 6, n. 1, p. 31-34, 2017.

SCHOENINGER, Vanderleia; COELHO, Silvia Renata Machado; SILOCHI, Rose Mary HQ. Cadeia produtiva da cachaça. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 4, p. 292-300, 2014.

SILVA, Andréia Aparecida *et al.* A utilização da matriz Swot como ferramenta estratégica—um estudo de caso em uma escola de idioma de São Paulo. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, v. 8, p. 1-11, 2011.

SOUZA, Lizana Emanuele Silva de. Projeto de uma indústria brasileira produtora de cachaça. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Posadas, Misiones, 2017.

SUÁREZ-EIROA, Brais; FERNÁNDEZ, Emilio; MÉNDEZ-MARTÍNEZ; SOTO-OÑATE, David. Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. **Journal of Cleaner Production**. Volume 214, 20 March 2019, Pages 952-961

TEECE, David J. Business models, business strategy and innovation. **Long range planning**, v. 43, n. 2-3, p. 172-194, 2010.

VILELA, Anderson Ferreira. Estudo da adequação de critérios de boas práticas de fabricação na avaliação de fábricas de cachaça de alambique. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos - Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2005.

VOLPE, Thaisa Carvalho. Avaliação das características físico-químicas da cachaça industrial e artesanal comercializadas no centro norte paranaense. 2013. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso, planejamento e métodos**. 2.ed. São Paulo: Bookman, 2001.

WARD, Anna. Smaller Footprints, Stronger Connections? Sustainability is Gaining Momentum in Alcoholic Drinks. **Euromonitor International**, 2023. Disponível em: <https://www.euromonitor.com/article/smaller-footprints-stronger-connections-sustainability-is-gaining-momentum-in-alcoholic-drinks>

WESTBROOK, Gina; ANGUS, Alisson. 10 PRINCIPAIS TENDÊNCIAS GLOBAL DE CONSUMO 2021. Euromonitor International.

WIRTZ, Bernd W.; SCHILKE, Oliver; ULLRICH, Sebastian. Strategic development of business models: implications of the Web 2.0 for creating value on the internet. **Long range planning**, v. 43, n. 2-3, p. 272-290, 2010.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A

**Quadro 1 – Resumo das propostas circulares para o ESM**

<b>Tópico</b>	<b>Atividade interna</b>	<b>Atividade externa</b>	<b>Custos</b>	<b>Empecilhos</b>	<b>Principais benefícios</b>
Bagaço como adubo orgânico	Mistura do bagaço com a vinhaça para formar o adubo	Abertura de trincheiras para formar o reservatório do bagaço	Baixo	Não há	Aumento da eficiência do plantio da cana
Reutilização das garrafas	Controle dos materiais reciclados para fornecer desconto aos clientes	Logística reversa; controle dos materiais reciclados	Gasto a logística reversa, porém economia na aquisição de insumos	Falta de experiência da empresa com este tipo de atividade	Redução dos gastos, menor quantidade de resíduos, melhores preços
Sistema de energia solar	Análise das ofertas	Implantação do sistema de geração de energia solar	Alto investimento inicial, mas com rápido retorno; utilização de linhas de crédito	Alto investimento inicial	Redução dos impactos negativos ao meio ambiente; redução dos gastos com energia elétrica

Fonte: Autoria própria

## APÊNDICE B

**Quadro 1 – Resumo do plano de gerenciamento**

<b>Produto</b>	<b>Acompanhamento de desempenho</b>	<b>Avaliação das mudanças</b>
Adubo orgânico	Análise experimental; Laboratórios de análise de solo	Expectativa de bom retorno dos clientes (sustentabilidade)
Energia Solar	Aplicativo; Análise da conta de luz	Expectativa de bom retorno dos clientes (sustentabilidade)
Garrafas Recicláveis	Sistema de controle compartilhado (empresa, logística, cliente)	Expectativa de bom retorno dos clientes (preços mais baixos, redução de resíduos, experiência nessa prática)

Fonte: Autoria própria