



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JAMERSON RODRIGUES SANTOS

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE PRÁTICAS DE SIMBIOSE
INDUSTRIAL EM FAZENDAS – UM ESTUDO DE CASO**

LUÍS EDUARDO MAGALHÃES-BA

2025

JAMERSON RODRIGUES SANTOS

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE PRÁTICAS DE SIMBIOSE
INDUSTRIAL EM FAZENDAS – UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Oeste da Bahia como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Adriano David Monteiro de Barros

LUÍS EDUARDO MAGALHÃES-BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S237 Santos, Jamerson Rodrigues.

Análise do potencial de práticas de simbiose industrial em fazendas: um estudo de caso / Jamerson Rodrigues Santos. – 2025.

90 f.; il. color.

Orientador: Prof. Dr. Adriano David Monteiro de Barros.

Trabalho de Conclusão de Curso: (graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães, Luís Eduardo Magalhães, BA, 2025.

1. Administração da produção – Economia circular. 2. Simbiose industrial. 3. Agronegócio – Bahia, região oeste da.

I. Barros, Adriano David Monteiro de. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia – Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães. III. Título.

CDD: 658.503

BIBLIOTECAS UFOB - Biblioteca Universitária de Luís Eduardo Magalhães

JAMERSON RODRIGUES SANTOS

**ANÁLISE DO POTENCIAL DE PRÁTICAS DE SIMBIOSE
INDUSTRIAL EM FAZENDAS – UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Luís Eduardo Magalhães, BA, 31 de janeiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adriano David Monteiro de Barros
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Dr. Mário dos Santos Bulhões
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Dra. Suzy Magaly Alves Cabral de Freitas
Universidade Federal do Oeste da Bahia

(A versão assinada deste documento encontra-se com a coordenação de curso)

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, por sempre acreditar no meu potencial e me apoiar incondicionalmente.

À minha tia, pelo suporte e torcida inabaláveis ao longo de todos esses anos, sempre ao meu lado, acreditando em mim.

Aos amigos que fiz durante essa jornada, por estarem comigo nos momentos difíceis e nas conquistas, me apoiando e contribuindo para minha transformação pessoal e acadêmica.

À Universidade e ao corpo docente, em especial ao meu orientador, que não mediu esforços para me apoiar, sempre com paciência e dedicação, extraindo de mim o melhor que eu poderia oferecer.

A mim mesmo, por acreditar no meu potencial e perseverar diante dos desafios. Pelo esforço contínuo, dedicação e superação que me permitiram concluir esta jornada. Sou grato por ter me mantido fiel aos meus objetivos e por nunca desistir.

RESUMO

O setor agrícola desempenha um papel crucial diante de desafios globais como o crescimento populacional, a segurança alimentar, as mudanças climáticas e a escassez de recursos, fatores essenciais para a sustentabilidade. Nesse contexto, mecanismos como a Simbiose Industrial emergem como estratégias significativas para a transição em direção à Economia Circular. Em vista disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar o potencial de práticas de simbiose industrial em fazendas voltadas para a produção agrícola, identificando as barreiras e os impulsores para sua implementação. A pesquisa é caracterizada como descritiva, delimitada por meio de um estudo de caso baseado na coleta de dados qualitativos. A metodologia utilizada baseou-se na adaptação de uma ferramenta sequencial para análise de potencial, composta por três módulos: Identificação da Empresa (Módulo A), Avaliação do Estado Atual (Módulo B) e Potencial de Implementação (Módulo C). Essa ferramenta foi ampliada para incluir observações participantes e a aplicação de questionários que abordam a configuração atual da fazenda e novo cenário. Os resultados revelaram um bom nível de maturidade e potencial de simbiose industrial na fazenda. Foi possível identificar sinergias tanto entre processos internos quanto com empresas da região e de outros estados. As principais barreiras internas são relacionadas a falta de confiança em possíveis parceiros e problemas logísticos. Constatou-se que a logística é uma barreira extremamente desafiadora, especialmente no manejo de resíduos de baixo valor agregado. No entanto, a Simbiose Industrial não está necessariamente restrita à proximidade geográfica. Um exemplo disso é o caroço de algodão, um subproduto de alto valor, e os resíduos recicláveis, que são direcionados a empresas especializadas localizadas em mercados distantes. No ambiente externo, foram observadas limitações como a ausência de fundos de incentivo, fiscalização eficiente e intermediários, além da falta de interesse de outras fazendas locais. Apesar disso, a fazenda estudada demonstrou elevado grau de conhecimento, comprometimento e investimentos voltados à implementação de práticas alinhadas à Economia Circular, impulsionados por sua cultura organizacional, reputação no mercado, políticas de compliance e busca por competitividade no mercado internacional, uma vez que se trata de uma empresa de capital aberto. Foi identificada uma oportunidade de melhoria relacionada ao descarte de resíduos orgânicos, atualmente destinados a aterros. O cenário projetado para enfrentar esse desafio é a implementação de uma Ecofábrica destinada à compostagem desses resíduos, transformando-os em biofertilizantes para uso nas lavouras. Essa solução promove a reciclagem de macro e micronutrientes, contribui para a agricultura regenerativa, reduz emissões de gases de efeito estufa e gera economia nos custos com fertilizantes. Por fim, propõe-se um quadro de facilitadores para superar os desafios identificados, além de explorar novas possibilidades de valorização dos resíduos e subprodutos.

Palavras-chaves: Simbiose Industrial. Economia Circular. Agronegócio. Desafios. Oportunidades.

ABSTRACT

The agricultural sector plays a crucial role in addressing global challenges such as population growth, food security, climate change, and resource scarcity—key factors for sustainability. In this context, mechanisms such as Industrial Symbiosis emerge as significant strategies for the transition toward a Circular Economy. This study aims to analyze the potential for implementing industrial symbiosis practices in farms dedicated to agricultural production, identifying barriers and drivers for their adoption. The research is descriptive and employs a case study approach based on the collection of qualitative data. The methodology utilized was based on the adaptation of a sequential analysis tool for potential assessment, comprising three modules: Company Identification (Module A), Current State Assessment (Module B), and Implementation Potential (Module C). This tool was expanded to include participant observations and the application of questionnaires addressing the farm's current configuration and a proposed new scenario. The results revealed a good level of maturity and potential for industrial symbiosis on the farm. Synergies were identified both within internal processes and with companies from the region and other states. The main internal barriers included a lack of trust in potential partners and logistical challenges. Logistics proved to be an especially demanding barrier, particularly in managing low-value waste. However, industrial symbiosis is not necessarily restricted to geographic proximity. An example of this is cottonseed—a high-value byproduct—and recyclable waste, which are directed to specialized companies located in distant markets. Externally, limitations such as the absence of incentive funds, efficient enforcement, intermediaries, and interest from other local farms were observed. Despite these challenges, the studied farm demonstrated a high degree of knowledge, commitment, and investments aligned with the implementation of Circular Economy practices. These efforts are driven by its organizational culture, market reputation, compliance policies, and pursuit of competitiveness in the international market, as it is a publicly traded company. An opportunity for improvement was identified concerning the disposal of organic waste, which is currently sent to landfills. The proposed scenario to address this challenge is the implementation of an Eco-Factory dedicated to composting this waste, transforming it into biofertilizers for use in the fields. This solution promotes the recycling of macro and micronutrients, contributes to regenerative agriculture, reduces greenhouse gas emissions, and generates savings in fertilizer costs. Finally, a framework of facilitators is proposed to overcome the identified challenges, as well as to explore new possibilities for the valorization of waste and by-products.

Keywords: Industrial Symbiosis. Circular Economy. Agribusiness. Challenges. Opportunities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Níveis de implementação de SI	15
Figura 2: Modelos de negócios com base na governança	17
Figura 3: Barreiras, impulsionadores e facilitadores para a implementação da Simbiose Industrial.....	20
Figura 4: Delimitação do estudo	30
Figura 5: Estrutura dos módulos da ferramenta para avaliação de potencial de SI.....	31
Figura 6: Estrutura do Módulo C (Potencial de Implementação)	34
Figura 7: Instrumento de pesquisa	36
Figura 8: Etapas, insumos e resíduos	41
Figura 9: Resíduo de colheita (soqueira do algodão).....	42
Figura 10: Palhada (milheto).....	43
Figura 11: Unidade de Beneficiamento de Algodão	44
Figura 12: Fluxograma da UBA.....	46
Figura 13: Subprodutos e resíduos da UBA.....	47
Figura 14: Destinação dos subprodutos e resíduos da UBA	47
Figura 15: Unidade de Beneficiamento de Grãos	48
Figura 16: Fluxograma da UBG.....	49
Figura 17: Caixa de Resíduos	50
Figura 18: Resíduos da UBG.....	51
Figura 19: Destinação dos resíduos da UBG	51
Figura 20: Central Temporária de resíduos.....	53
Figura 21: Resíduos Classe I.....	53
Figura 22: Resíduos gerados na fazenda e destinações.....	55
Figura 23: Piscina de evaporação.....	56
Figura 24: Nível de Maturidade	57
Figura 25: Barreiras e Impulsionadores identificados.....	59
Figura 26: Novo cenário de destinações de resíduos	63
Figura 27: Novas formas de valorização de subprodutos e resíduos	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fases para a avaliação do potencial do excedente	34
Quadro 2: Facilitadores propostos	70
Quadro 3: Questionário de identificação da empresa	83
Quadro 4: Questionário para avaliação do estado atual	83
Quadro 5: Campos potenciais internos e seus respectivos objetivos técnicos.....	84
Quadro 6: Campos potenciais externos e seus respectivos objetivos técnicos	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1 OBJETIVO GERAL.....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 JUSTIFICATIVA	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL	14
2.2 BARREIRAS, IMPULSIONADORES E FACILITADORES	18
2.2.1 Barreiras para a implementação de SI.....	22
2.2.2 Impulsionadores e facilitadores para a implementação de SI.....	24
2.3 SIMBIOSE INDUSTRIAL E SUA APLICABILIDADE AOS SISTEMAS AGRÍCOLAS.....	26
3. METODOLOGIA DE PESQUISA	30
3.1 MÓDULO A – IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA.....	31
3.2 MÓDULO B – AVALIAÇÃO DO ESTADO ATUAL (MATURIDADE)	32
3.3 MÓDULO C – AVALIAÇÃO DO ESTADO POTENCIAL	33
3.4 INSTRUMENTO DE PESQUISA	35
3.5 UNIDADE DE ANÁLISE	38
4. RESULTADOS	40
4.1 PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	40
4.2 UNIDADE DE BENEFICIAMENTO DE ALGODÃO	44
4.3 UNIDADE DE BENEFICIAMENTO DE GRÃOS	48
4.4 SEDE DA FAZENDA	52
4.5 MATURIDADE, BARREIRAS E IMPULSIONADORES IDENTIFICADOS.....	57
4.6 NOVO CENÁRIO.....	62
5. DISCUSSÃO.....	65
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS	76
ANEXO A – QUESTIONÁRIOS	83
APÊNCICE A – QUESTIONÁRIOS ESTADO ATUAL	86
APÊNCICE B – QUESTIONÁRIO NOVO CENÁRIO	90

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o esgotamento de recursos, a escassez de água, o aumento populacional, o crescimento da classe média global e os desafios econômicos estão questionando a visão econômica de produção baseada na Economia Linear (Mangla et al., 2021; Dalto et al., 2023; Hamam et al., 2023; Corsini; Bernardi; Frey, 2024).

Neste modelo econômico, a prática predominante é o "*take-make-waste*", em que materiais são consumidos e descartados sem aproveitamento total, gerando poluição, subutilização de recursos e consequentemente a extração excessiva de recursos naturais (Boom-Cárcamo; Peñabaena-Niebles, 2022). Essa prática desencadeia crises alimentares, ambientais, econômicas e sociais em escala global (Pasqualotto et al., 2023).

Tradicionalmente, a produção agrícola segue um modelo linear, focado na exploração de recursos não renováveis e na maximização da produtividade (Neves et al., 2019). Os avanços nos sistemas agrícolas e alimentares aumentaram a produção por área de maneira extraordinária. No entanto, essa alta produtividade e o consumo elevado de matérias-primas e recursos não renováveis também geram grandes quantidades de resíduos (Dalto et al., 2023).

Anualmente, cerca de 1,92 bilhão de toneladas de alimentos produzidos para consumo humano são desperdiçados. Além disso, aproximadamente 15,8% das terras agrícolas e da água utilizadas no cultivo de alimentos são dedicadas a produtos que acabam sendo perdidos ou descartados, resultando em cerca de 4% das emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Gatto; Chepeliev, 2023).

Com o crescimento populacional projetado para 11 bilhões de pessoas até 2100, a demanda por alimentos está se tornando cada vez mais urgente. Esse aumento na população mundial traz desafios significativos para a produção e distribuição de alimentos e também para a gestão de resíduos (Martins; Anjos; Silva, 2023). Assim, a Economia Circular surge como uma solução promissora para esse cenário, baseando-se nos sistemas vivos da natureza, que operam em ciclos fechados, onde o fluxo de energia e materiais é contínuo e renovável. Esse novo modelo econômico não apenas minimiza a poluição e o desperdício, mas também promove a eficiência energética, reduzindo a demanda por matérias-primas virgens e não renováveis (Barona; Ballini; Canepa, 2023).

Ao maximizar a eficiência no uso de recursos e reduzir as emissões, a adoção dos princípios da Economia Circular nos sistemas de produção e distribuição diminui o consumo de materiais, água e energia. Para fortalecer essa abordagem de produção e consumo em ciclo

fechado, é possível usar mecanismos que monitoram, analisam e otimizam os fluxos de materiais, transformando resíduos em novos recursos (Petit et al., 2022).

Segundo Paché (2024), a Economia Circular pode ser demonstrada na prática através da Simbiose Industrial, que estimula a colaboração e a confiança entre organizações. Com sua adaptabilidade a diferentes contextos, essa abordagem viabiliza soluções regionais sustentáveis, reforçando os princípios da circularidade. Assim, a Simbiose Industrial surge como um dos mecanismos mais relevantes para impulsionar e apoiar a transição para o modelo circular.

Essa abordagem permite que os resíduos gerados por uma empresa sejam aproveitados por outras como uma alternativa às matérias-primas, ou até mesmo utilizados diretamente na criação de novos produtos. Além disso, ao adotar a Simbiose Industrial, as empresas podem gerar benefícios ambientais e sociais, além de obter vantagens econômicas significativas (Fracascia et al., 2021; Fraccascia; Ceccarelli; Dangelico, 2023).

Não há dúvida de que a simbiose industrial é um fator chave na transformação do modelo convencional para um modelo econômico mais sustentável e circular, aumentando a eficiência de recursos e reduzindo os resíduos gerados. Todavia, apesar dos benefícios obtidos através da simbiose industrial serem evidentes, sua implementação prática não é trivial (Castellet-Viciano et al., 2022). O sucesso dessa abordagem requer a superação de várias barreiras e a criação de oportunidades para garantir o estabelecimento da relação colaborativa (Ji et al., 2020).

O conceito de Simbiose Industrial (SI) é intuitivo. No entanto, a partilha de recursos entre empresas é um processo complexo, que não ocorre de forma imediata e depende de diversos fatores técnicos e não técnicos, como aspectos sociais, informacionais, tecnológicos, econômicos e políticos (Golev; Corder; Giurco, 2015; Artacho-Ramírez et al., 2020). De acordo com Chatterjee et al. (2024), a ausência de uma visão estratégica para organizar as relações e superar os obstáculos contribui para a falha de grande parte dos projetos de Simbiose Industrial nas fases iniciais.

Baseando-se nisso, Azevedo et al. (2021) discutem a relevância de avaliar o potencial de simbiose industrial, especialmente quanto à capacidade de uma empresa se envolver em SI. Isso inclui a análise das condições iniciais da empresa, identificando tanto as barreiras quanto os impulsionadores, antes de avaliar seu potencial em nível regional. Essa abordagem preenche uma lacuna significativa na pesquisa e aumenta as chances de sucesso ao estabelecer o vínculo simbiótico.

Em concordância, Harfeldt-Berg, Broberg e Ericsson (2022) discorrem que dentro das relações de SI, é fundamental considerar a perspectiva dos atores individuais, pois enfrentam

diferentes desafios e perspectivas da colaboração em simbiose industrial. Avaliar o potencial em agente individuais pode ser a chave para o sucesso das relações simbióticas.

Nesse cenário, a presente pesquisa analisa como os desafios e oportunidades influenciam a implementação de práticas de simbiose industrial em empresas do setor agrícola, focando especificamente em fazendas de maneira individual. A partir de uma revisão da literatura existente, o problema de pesquisa é delineado da seguinte forma: **Como os fatores internos e externos impactam ou influenciam na implementação de práticas de simbiose industrial em fazendas voltadas para a produção agrícola?**

1.1 Objetivo Geral

Analisar o potencial de uma fazenda voltada para a produção agrícola em realizar práticas de simbiose industrial.

1.2 Objetivos Específicos

- Descrever o ciclo de operacional da fazenda, identificando os resíduos e subprodutos gerados;
- Identificar práticas de simbiose industrial em nível intraorganizacional e interorganizacional;
- Verificar as barreiras e impulsionadores internos e externos;
- Sugerir facilitadores para superar as barreiras identificadas;
- Propor um framework com possibilidades de aproveitamento dos resíduos e subprodutos.

1.3 Justificativa

De acordo com a Fundação Ellen Macarthur (2021), a forma atual de produção de alimentos pode gerar custos de cerca de 6 trilhões de dólares até 2050, devido ao enfoque excessivo em aspectos mecânicos como rendimento, escala e durabilidade, em vez de reconhecer a agricultura como parte de um sistema natural. Para atender às necessidades futuras, é necessário adotar uma Economia Circular que imite os sistemas naturais, eliminando resíduos e transformando-os em matéria-prima para novos ciclos (Ellen Macarthur Foundation, 2017).

Historicamente, o setor agrícola contribui significativamente para a emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, além de aumentar a geração de resíduos. Isso afeta o meio ambiente, colocando em risco a sustentabilidade dos ecossistemas e a saúde das pessoas. Diante dessa realidade, os métodos agrícolas e políticas de gestão de resíduos devem ser remodelados para solucionar esse problema (Bejenaru et al., 2024).

A sustentabilidade da agricultura nas próximas décadas depende da redução da dependência de recursos não renováveis e da extração de matéria-prima virgem. A Simbiose Industrial pode viabilizar essa transição por meio da colaboração interorganizacional, em que nutrientes essenciais para a agricultura podem ser obtidos a partir de resíduos orgânicos em empresas próximas ou provenientes de centros urbanos (Bijon et al., 2022).

As empresas do agronegócio têm a capacidade de atingir a minimização do uso de recursos, a diminuição da produção de resíduos e o aprimoramento da eficiência operacional por meio da implementação de práticas de Economia Circular. Além disso, é uma oportunidade para abrir caminho para novas fontes de receita e oportunidades de negócio (Khan; Mahajan, 2023).

Há uma crescente pesquisa sobre simbiose industrial no setor agrícola. Por exemplo, Cioca et al. (2021) investigaram o uso de resíduos urbanos como substitutos para fertilizantes sintéticos, enquanto Sbaffoni et al. (2022) identificaram novas oportunidades para resíduos da azeitona e do vinho. Huang, Wang e Li (2022) exploraram a simbiose na agricultura familiar, e Bejenaru et al. (2024) analisaram o potencial de resíduos agrícolas para compostos farmacêuticos. Contudo, Moreira, Butturri e Sellito (2023) destacam a falta de estudos aprofundados no agronegócio, ressaltando a importância de expandir as relações simbióticas entre empresas agrícolas para promover a reutilização de resíduos e aumentar a produtividade regional.

O presente estudo se justifica por sua contribuição acadêmica ao inovar na aplicação do conceito de simbiose industrial, que é convencionalmente estudado e aplicado em contextos industriais, para a produção agrícola, explorando novas fronteiras e potencialidades do conceito neste setor. Além disso, o presente estudo visa contribuir para a lacuna de estudo que existe na avaliação preliminar de potencial de simbiose industrial, em que se considera a identificação dos obstáculos e as oportunidades específicas dos agentes individuais. Essa abordagem implica em conhecer o nível de maturidade da empresa e avaliar a viabilidade de estabelecer laços simbióticos e futuramente a participação em rede de simbiose. Dada a originalidade dessa iniciativa, as contribuições são direcionadas não apenas ao meio científico, mas também a organizações que desejam promover práticas sustentáveis e circulares.

A pesquisa também se justifica pela relevância no setor agrícola, que é responsável por inúmeros impactos ambientais. A identificação do estado atual, estudo das oportunidades e consequente aplicação de práticas de Simbiose Industrial no setor pode trazer benefícios ambientais, sociais e econômicos. Sendo assim, esta pesquisa considera relevante e fundamental a aplicação do conceito de SI na produção agrícola como uma nova forma de gestão e disseminação das práticas de SI.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Evolução do conceito de Simbiose Industrial

Na biologia, simbiose significa interação entre espécies diferentes que trocam materiais, energias ou informações, nessas relações o fluxo de materiais e energia é fechado (Chertow; Ehrenfeld, 2012). De maneira análoga, o conceito é aplicado em sistemas industriais em que as empresas estabelecem relações de interdependências criadas pelo compartilhamento de materiais e/ou infraestruturas (Lybæk; Christensen; Thomsen, 2021).

O primeiro marco conceitual de Simbiose Industrial foi desenvolvido por Chertow (2000) que a definiu como o envolvimento de indústrias tradicionalmente separadas em uma abordagem coletiva para obter vantagem competitiva, através da troca física de materiais, energia, água e/ou subprodutos. A autora descreve que esse envolvimento coletivo implica em benefícios econômicos e ambientais que não podem ser alcançados de maneira isolada.

Após duas décadas de avanço nas pesquisas, o conceito expandiu-se para além das trocas materiais, passando a abranger também trocas de recursos imateriais, como conhecimento, perícia e tecnologia, além disso, o fluxo de recursos envolve o compartilhamento de infraestrutura e serviços (Mallawaarachchi et al., 2020).

Segundo Tolstykh et al. (2023), a finalidade da Simbiose Industrial é integrar diferentes empresas de modo que os resíduos de uma se transformem em recursos úteis para outras. Isso envolve o aproveitamento de excessos de energia, materiais e recursos intangíveis, promovendo uma colaboração mutuamente benéfica que resulta em maior eficiência de produção, redução de custos e, conseqüentemente, vantagens competitivas (Taqi et al., 2022).

No estudo de Boons, Spekkink e Mouzakis (2011) a SI pode ser entendida como um processo dividido em dois níveis. No primeiro nível, encontramos um conjunto de empresas próximas que têm potencial para estabelecer trocas, promovendo uma dinâmica que resulta em conexões. Já no segundo nível, ocorre a disseminação do conceito e das práticas da SI na sociedade, envolvendo intervenientes além do âmbito regional.

O conceito de SI como um processo está alinhado com sua característica longitudinal, em que as trocas de materiais, informações ou energia não ocorrem de forma imediata, é um processo que podem necessitar de anos para se desenvolver. (Liwarska-Bizukojc; Bizukojc, 2018). Segundo Neves et al. (2019), as relações de simbiose industrial podem ser implementadas em três níveis distintos, dependendo dos limites em que se desenvolvem, como exposto na Figura 1.

Figura 1: Níveis de implementação de SI



Fonte: Elaborado com base em Neves et al. (2019)

O nível micro envolve a implementação dentro da organização, em que o compartilhamento ocorre entre processos, o nível meso descreve a relação entre empresas em proximidade geográfica, como os parques ecoindustriais. Já o nível macro se refere às atividades realizadas em nível regional ou nacional (Buda; Ricz, 2023).

Por sua vez, Henriques, Castro e Azevedo (2021) apresentam uma classificação diferente, focando mais na ideia de "troca" na simbiose industrial, e definem quatro níveis distintos: troca interna (redistribuição e aproveitamento de materiais dentro da própria empresa), troca externa (trocas simbióticas de materiais entre empresas), parque ecoindustrial e simbiose industrial urbana.

Essas formas de relacionamento podem ser informais, estabelecidas caso a caso, ou formais, regidas por contratos de longo prazo. Ademais, os relacionamentos podem ser vantajosos para todas as partes envolvidas (ganha-ganha) ou desequilibrados, com uma das partes mais satisfeita do que as outras. Além disso, os relacionamentos simbióticos podem ser unidirecionais, com um membro apenas fornecendo e os outros apenas recebendo, bidirecional ou em circuito fechado (Sellitto et al., 2021).

Além disso, em termos de localização geográfica, as sinergias podem ser implementadas em três níveis: dentro dos processos de produção da própria empresa, entre empresas co-localizadas em uma área específica e entre empresas não co-localizadas. Isso indica um novo entendimento das relações simbióticas, uma vez que empresas distantes umas das outras podem estar dispostas a estabelecer uma relação de Simbiose Industrial, desde que a sinergia seja economicamente viável. (Fraccascia; Giannoccaro, 2020).

Tradicionalmente, a classificação de redes simbióticas é apontada por Chertow (2007), que categorizou essas trocas como relações envolvendo pelo menos três entidades distintas, nas quais são realizados intercâmbios de no mínimo dois recursos diferentes. Nesse contexto,

Chertow (2007) menciona dois mecanismos de formação de redes de SI. As redes podem surgir como resultado de planejamento, em que são realizados esforços conscientes para identificar empresas diferentes e reuni-las em locais onde seja possível compartilhar recursos. Ou através de uma abordagem espontânea, conduzida através de um processo auto-organizado por atores privados em busca de ganhos econômicos (Sellitto et al., 2021).

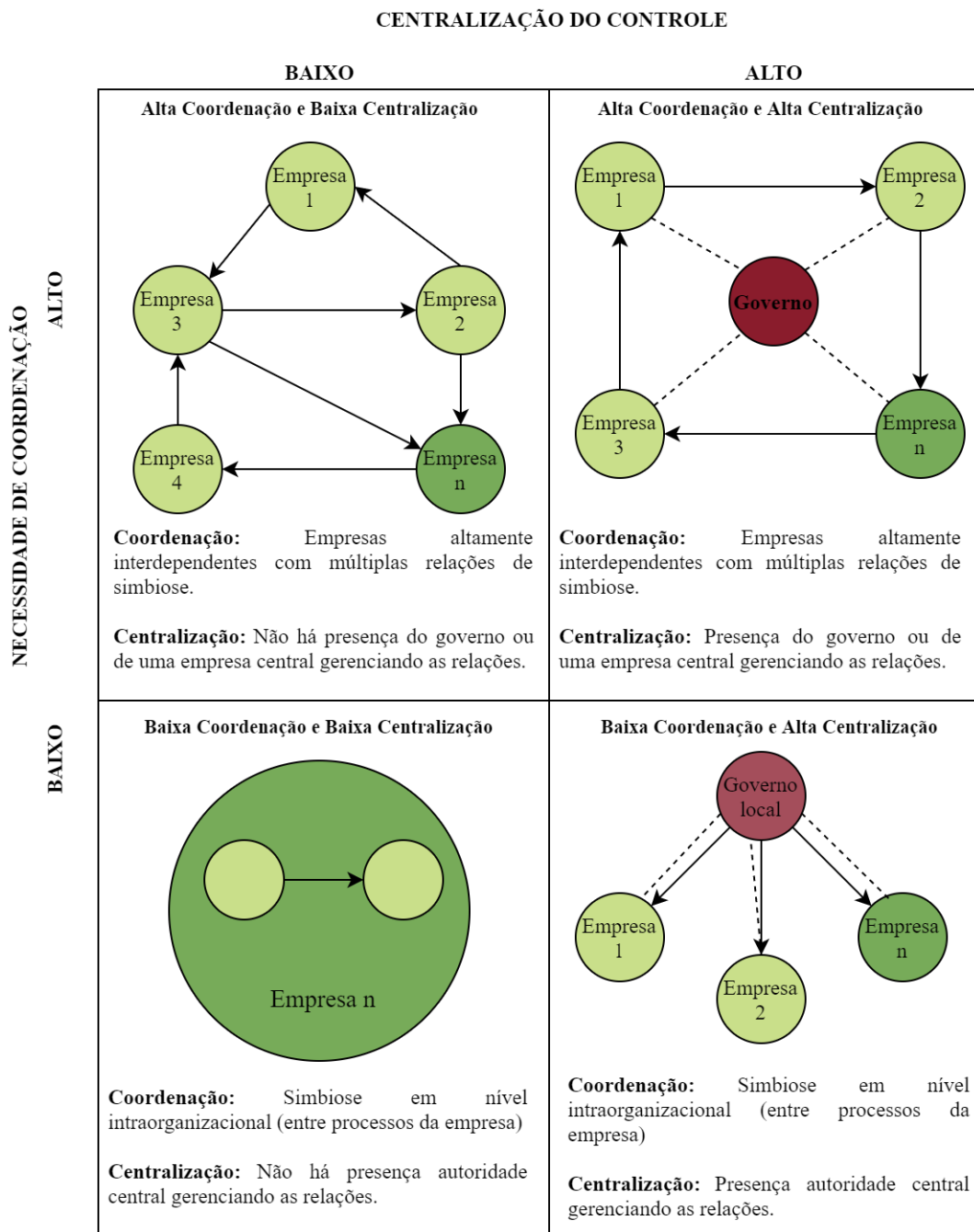
Em Kalundborg, na Dinamarca, a necessidade compartilhada de acessar uma fonte de água superficial deu origem ao caso mais famoso de Simbiose Industrial. Através de uma abordagem auto-organizada, uma refinaria de petróleo, uma central elétrica, uma instalação de placas de gesso, uma fábrica farmacêutica e a cidade de Kalundborg colaboram, compartilhando recursos como águas subterrâneas, águas superficiais, águas residuais, vapor, eletricidade e diversos tipos de resíduos. (Chertow, 2000; Chertow, 2007; Chertow; Ehrenfeld, 2012; Liwarska-Bizukojc; Bizukojc, 2018; Chertow et al., 2019; Bijon et al., 2022).

Chertow (2000) descreve que a simbiose de Kalundborg não foi planejada externamente, mas surgiu organicamente da interação no setor privado, sem intervenção direta do governo, com o objetivo de reduzir custos, aumentar receitas, expandir os negócios e garantir acesso sustentável à água e energia a longo prazo. Contudo, após estabelecer as conexões, ficou evidente que uma função de coordenação é essencial para manter e desenvolver essas relações de forma contínua.

Chatterjee et al. (2024) identificam três estágios na Simbiose Industrial. Inicialmente, as trocas de subprodutos são motivadas por razões econômicas. Em seguida, as empresas percebem os benefícios econômicos, ambientais e sociais, levando a uma maior coordenação e redes mais complexas. Finalmente, um quadro institucional é criado para conectar todas as empresas, promovendo uma visão estratégica e garantindo a estabilidade do projeto.

À medida que a literatura se tornava mais robusta, Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2019) destacaram a necessidade de uma taxonomia dos modelos de negócios de Simbiose Industrial baseada na governança. Eles propuseram uma taxonomia considerando duas características: a necessidade de coordenação e a centralização do controle, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Modelos de negócios com base na governança



Fonte: Adaptado de Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2019)

A necessidade de coordenação está relacionada ao nível da relação. Em nível micro, há pouca necessidade de coordenação. No entanto, em nível meso, é necessária uma coordenação mais alta, pois envolve múltiplas relações e as empresas tornam-se dependentes umas das outras. Por outro lado, a centralização refere-se à presença do governo gerindo as relações ou à presença de uma empresa com papel central na rede (Fraccascia; Giannoccaro; Albino, 2019).

A abordagem auto-organizada se mostra bastante promissora, geralmente no início dos casos bem-sucedidos, as empresas se envolvem em trocas simbióticas para alcançar objetivos econômicos, tais como aumento de receitas, redução de custos ou expansão de negócios. Os benefícios ambientais surgem como uma consequência e não são necessariamente um fator para iniciar o envolvimento. (Artacho-Ramírez et al., 2020). O ganho econômico e interesses comerciais são as principais motivações para o envolvimento (Behzad et., 2024).

2.2 Barreiras, Impulsionadores e Facilitadores

A literatura apresenta diversas terminologias para os principais fatores que influenciam a Simbiose Industrial. No entanto, a classificação baseada em barreiras, impulsionadores e facilitadores é amplamente adotada (Neves et al., 2019; Ji et al., 2020; Fracascia et al., 2021; Branca et., 2021; Henriques; Castro; Azevedo, 2021; Harfeldt-Berg; Broberg; Ericsson, 2022; Boom-Cárcamo; Peñabaena-Niebles, 2022; Harfeldt-Berg; Harfeldt-Berg, 2023).

A categorização tem o objetivo de distinguir entre os fatores que facilitam, incentivam ou possibilitam a implementação de SI e aqueles que dificultam ou ameaçam esse processo. Esses fatores abrangem diferentes dimensões, incluindo política, social, econômica, geográfica, tecnológica e intermediários. Essas dimensões são relevantes em todos os níveis de implementação, seja local, regional ou nacional (Henriques; Castro; Azevedo, 2021).

As barreiras são fatores que obstruem ou dificultam o desenvolvimento da Simbiose Industrial (Barona; Ballini; Canepa, 2023). Os impulsionadores são elementos que motivam a participação na colaboração em simbiose, como benefícios econômicos, ambientais e sociais, já os facilitadores são fatores que têm o potencial de aprimorar a colaboração, seja removendo barreiras ou criando impulsionadores (Harfeldt-Berg; Broberg; Ericsson, 2022).

Para analisar esses fatores, Ji et al. (2020) propõem uma abordagem analítica para identificar os elementos que influenciam a participação das empresas na Simbiose Industrial. Os autores analisam as empresas separadamente, classificando-as como produtoras, receptoras de resíduos e não participantes de SI. Essa abordagem permite identificar diferenças significativas nos fatores de influência para cada tipo de empresa.

Com o mesmo intuito, Boom-Cárcamo e Peñabaena-Niebles (2022) realizaram a primeira pesquisa sobre semelhanças, pontos fracos, pontos fortes e elementos a serem considerados na Simbiose Industrial exclusivamente em países emergentes e fronteiriços. Eles destacam a necessidade de analisar as particularidades de cada região em termos de normas, considerações sociais e culturais, e regulamentações ambientais. De forma mais genérica,

Barona, Ballini e Canepa (2023) avaliaram os motivadores e as barreiras à Economia Circular, bem como o potencial de adoção de práticas circulares nos Portos Industriais Marítimos da Europa.

Na pesquisa de Fracascia et al. (2021), o foco foi estudar os fatores relacionados à Simbiose Industrial baseada em energia. O objetivo foi analisar os desafios e as oportunidades para implementar sinergias que reduzam a quantidade de energia necessária dos sistemas industriais externos ou diminuam o consumo de combustíveis fósseis na produção de energia. Branca et al. (2021) analisaram os impulsionadores, barreiras e facilitadores nas indústrias de processo europeias (setor de ferro e aço, setor químico, setor de metais não ferrosos, setor mineral, setor da água, setor de cimento, setor cerâmico, setor de tratamento de resíduos) com base nas transações de fluxos de energia e materiais.








De forma análoga, Henriques, Castro e Azevedo (2021) identificaram um conjunto de fatores críticos que impactam na Simbiose Industrial, organizados por setor, incluindo os setores de gestão de resíduos, agronegócio, energia, indústria de papel, químico, logística, cimento, indústria florestal, fabricação, metal, farmacêutico e outros. Os autores discutem as particularidades de cada setor, destacando que cada um possui suas próprias barreiras e oportunidades.

A Figura 3 apresenta as principais barreiras, impulsionadores e facilitadores para a implementação de simbiose industrial encontrados na literatura.

Figura 3: Barreiras, impulsionadores e facilitadores para a implementação da Simbiose Industrial

	BARREIRAS 	IMPULSIONADORES 	FACILITADORES 
SOCIAL 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de Confiança - Inércia social - Relutância das empresas em estabelecer as relações sinérgicas - Disposição limitada dos stakeholders em colaborar - Resistência em fornecer dados sobre processos e resíduos gerados - Medo da dependência - Obejeções da comunidade - Preocupação com o vazamento de propriedade intelectual ou segredos - Dificuldade em encontrar possíveis parceiros - Conflitos de interesse - Falta de conscientização e compreensão da comunidade - Ambiente de trabalho e funcionários - Composição da rede - Desenvolvimento regional - Instabilidade social e econômica do país 	<ul style="list-style-type: none"> - Confiança e compreensão - Recursos humanos conscientes e mobilizados - Inspiração no sucesso de outras empresas - Desenvolvimento regional - Envolvimento das partes interessadas - Presença de redes de simbiose auto-organizadas - Preocupação com questões ambientais - Modelos de negócios circulares - Harmonia com a comunidade local - Composição da rede - Estudos locais e regionais de sinergias - Criação de empregos 	<ul style="list-style-type: none"> - Ambiente de Confiança - Abordagem espontânea e auto-organizada - Rede interna e externa de relacionamento - Conscientização e educação comunitária - Programas de atividades - Cooperação e coordenação - Proximidade cognitiva e social - Envolvimento da comunidade - Aceitação pública - Sensibilização - Demanda da sociedade por economia circular - Comunicação externa eficiente - Composição da rede
ECONÔMICA 	<ul style="list-style-type: none"> - Incertezas dos efeitos na população local - Aumento de custo - Imaturidade do mercado - Riscos e incertezas - Falta de recursos - Preços baixos de matérias-primas e valor econômico dos resíduos - Equilibrar benefícios econômicos dentro da rede - Baixos custos associados à eliminação de resíduos - Benefícios econômicos baixos, pouco claros ou inexistentes - Instabilidade nos fatores de demanda - Ausência de fundos de financiamento e incentivos - Requisitos e aceitação dos clientes - Competitividade 	<ul style="list-style-type: none"> - Competitividade - Desejo de se tornar eficiente em energia e recursos - Atender os requisitos dos clientes - Aumento da produtividade - Retorno econômico - Novas possibilidades de insumos - Curto retorno do investimento - Aumento da vida útil dos materiais - Novas oportunidades de negócios - Redução de custos - Ajuda financeira dos atores participantes e apoio no investimento 	<ul style="list-style-type: none"> - Novas oportunidades de negócios - Redução de custos - Competitividade - Fatores relacionados ao mercado - Investimento em P&D - Instrumentos financeiros - Acordos comerciais bem elaborados - Contribuição privada - Financiamento nacional
POLÍTICA 	<ul style="list-style-type: none"> - Legislação rigorosa - Ausência de políticas adequadas - Ausência de apoio governamental e incentivos - Procedimentos burocráticos e altamente complexos - Regulamentação e enquadramento - Incerteza no cenário político futuro - Licenças 	<ul style="list-style-type: none"> - Programas de incentivo - Apoio governamental - Políticas, legislações e planos adequados - Regulamentação e aplicação adequada - Monitoramento e certificação - Redução de aterros - Conformidade com políticas e requisitos - Redução de GEEs 	<ul style="list-style-type: none"> - Apoio e orientação governamental - Políticas, legislações e planos adequados - Monitoramento e certificação - Incentivos - Cenário político estável - Promoção da rede e mercado de resíduos - Fornecer ações de divulgação - Mudança nas regulamentações para facilitar o uso de resíduos

Figura 3: Barreiras, impulsionadores e facilitadores para a implementação da Simbiose Industrial

	BARREIRAS 	IMPULSIONADORES 	FACILITADORES 
GEOGRÁFICA 	<ul style="list-style-type: none"> - Posição geográfica - Distância - Logística 	<ul style="list-style-type: none"> - Posição geográfica - Distância - Logística 	<ul style="list-style-type: none"> - Posição geográfica - Distância - Logística
GERENCIAMENTO 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de tempo - Ausência de empenho e capacidade de identificar oportunidades - Outras prioridades da empresa - Agendas conflitantes entre/dentro da rede - Falta de conscientização ambiental e conhecimento sobre SI - Ausência de liderança - Ausência de coordenação e cooperação - Ausência de mecanismos de compartilhamento de informações - Recursos limitados - Ausência de empenho e capacidade de identificar oportunidades - Ausência de protocolos e acordos formais - Inviabilidade de implementação - Processos administrativos - Desconhecimento sobre os benefícios econômicos, ambientais e sociais 	<ul style="list-style-type: none"> - Cultura da empresa - Decisores da empresa - Transparência - Troca de conhecimento e informação - Boas rotas de comunicação - Responsabilidade social e moralidade da empresa - Conhecimento sobre os benefícios econômicos, ambientais e sociais - Atender requisitos de um sistema de gestão ambiental - Resposta aos investidores - Obter apoio/incentivo do governo - Consciência ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> - Relacionamento de longo prazo - Promoção de protocolos e acordos formais - Compartilhamento de conhecimento - Transparência - Instrumentos administrativos - Foco na sustentabilidade corporativa - Diversificação da abordagem tradicional de negócios
TECNOLÓGICA 	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologia, integração e infraestrutura - Características dos resíduos e subprodutos - Ausência de materiais de qualidade - Desconhecimento ou inexistência de tecnologias - Dificuldade em equilibrar oferta e demanda dos resíduos - Ausência de monitoramento e avaliação - Dificuldade técnicas - Dificuldade ou inviabilidade para implementar mudanças técnicas nos procesos de produção - Pouco acesso à tecnologia necessária - Ausência de inovação no setor empresarial 	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestrutura adequada e flexível - Monitoramento e avaliação - Desvio de resíduos (destinação segura) - Inovação e desenvolvimento - Redução de riscos - Tecnologias de modelagem, otimização e simulação - Estabilidade, grande volume de produção e previsibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de programas de plataformas digitais - Digitalização da indústria (Indústria 4.0) - Monitoramento e avaliação - Acesso à tecnologia - Incorporação de novas tecnologias - Melhoria e flexibilização dos processos de produção - Instalação com viabilidade tecnológica - Fluxo estável de resíduos
INTERMEDIÁRIOS 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausência de apoio das autoridade públicas locais, regionais ou nacionais - Ausência de intermediários - Comunicação ineficiente - Ausência de rede participativa 	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de empresas âncoras - Ajua de órgão de coordenação - Envolvimento de organizações de pesquisa e consultoria - Presença de empresas âncoras - Envolvimento de Instituições de PeD e Universidade - Entidades regionais e nacionais promovendo sinergias 	<ul style="list-style-type: none"> - Presença de empresas âncoras - Ajua de órgão de coordenação - Envolvimento de organizações de pesquisa e consultoria - Presença de empresas âncoras - Envolvimento de Instituições de PeD e Universidade - Entidades regionais e nacionais promovendo sinergias

Fonte: Neves et al., 2019; Ji et al.,2020; Fraccascia; Giannoccaro, 2020; Fraccascia et al.,2021; Branca et al., 2021; Henriques; Castro; Azevedo, 2021; Sellitto et al., 2021; Harfeldt-Berg; Broberg; Ericsson, 2022; Boom-Cárcamo; Peñabaena-Niebles, 2022; Harfeldt-Berg; Harfeldt-Berg, 2023

Como pode ser observado na Figura 3, os fatores que impactam na colaboração em simbiose variam consideravelmente na literatura existente. Um aspecto especialmente interessante é que o mesmo fator pode ser considerado tanto um impulsionador quanto uma barreira ou um facilitador, dependendo do contexto (Harfeldt-Berg; Broberg; Ericsson, 2022).

Segundo os mesmos autores, essa diversidade de perspectivas e as necessidades das empresas podem influenciar significativamente a forma como cada empresa participa e se beneficia da simbiose industrial. Além disso, outros fatores devem ser considerados, como o contexto geográfico, a afiliação setorial, o tipo de recurso trocado, o tamanho da empresa e seus recursos internos, os papéis e responsabilidades dos atores envolvidos, o nível de dependência, o investimento realizado e os benefícios recebidos, bem como a visão estratégica. Todos esses elementos impactam na percepção e no nível de participação das empresas.

Em concordância, Harfeldt-Berg e Harfeldt-Berg (2023) afirmam que as empresas são atores individuais, dotados de suas próprias estratégias, prioridades e preferências, ou seja, as percepções dos fatores impulsionadores e das barreiras podem variar dependendo do ator dentro de uma rede de simbiose industrial. Assim, algo que um ator considere como um fator impulsionador pode ser percebido como uma barreira por outro, dependendo de suas características específicas e do contexto em que estão inseridos.

Partindo desse ponto, Ji et al. (2020) discutem que, embora existam muitos estudos sobre os fatores nos níveis macro e meso da rede, o nível micro ainda apresenta uma lacuna significativa. Portanto, é urgente fortalecer o estudo no nível micro para obter mais informações e percepções sobre como os impulsionadores, facilitadores e barreiras afetam os atores individuais.

2.2.1 Barreiras para a implementação de SI

De acordo com Branca et al. (2021), os regulamentos e políticas desempenham um papel fundamental na implementação da Simbiose Industrial (SI), podendo tanto incentivá-la quanto limitá-la. Legislações rigorosas, inconsistentes e burocráticas representam uma barreira significativa para o envolvimento das empresas. Harfeldt-Berg e Harfeldt-Berg (2023) reforçam que o processo complexo para obtenção de licenças também dificulta a adesão a práticas de SI. Ainda que se reconheça a importância da política na promoção e remoção de obstáculos à SI, Fracascia et al. (2021) observam que as regulamentações especificamente direcionadas para fomentar essa prática ainda são poucas.

Na dimensão social, os principais desafios incluem a falta de confiança e cooperação entre as organizações, resistência à mudança, desinteresse, medo de compartilhar dados, conflitos de interesse e falta de conhecimento comunitário (Bruel; Godina, 2023). À medida que a rede de empresas se expande, a interdependência entre produtoras e receptoras de materiais aumenta, tornando o equilíbrio entre oferta e demanda de resíduos um desafio. Isso ocorre porque os resíduos são subprodutos das atividades, não uma demanda direta. Quando o tratamento de resíduos é necessário, a complexidade das operações se eleva consideravelmente (Fraccascia; Giannoccaro; Albino, 2019).

Para Pradhita et al. (2020), trocas simbióticas envolvendo resíduos que necessitam de tratamento exigem atenção às normas e especificações, bem como à legislação aplicável aos produtos resultantes. Garantir que os padrões de qualidade sejam atendidos é essencial para a estabilidade do produto. Saghafi e Roshandel (2024) enfatizam que a viabilidade tecnológica das trocas é crucial, pois tecnologias inadequadas podem inviabilizar a implementação, independentemente das vantagens econômicas, ambientais ou sociais.

A falta de tecnologias disponíveis, acesso restrito a novas soluções, dificuldade de integração de tecnologias, infraestrutura inadequada e manutenção da qualidade dos resíduos são desafios frequentemente relatados na dimensão tecnológica (Sellitto et al., 2021). Por outro lado, Neves et al. (2019) alertam que a adoção de medidas para reduzir a geração de resíduos pode inibir a colaboração, pois a quantidade de resíduos disponíveis para as trocas pode não ser garantida, prejudicando o processo de simbiose.

Mangla et al. (2021) destacam que distorções nas informações ambientais, fluxos de materiais e custos entre as partes envolvidas aumentam a complexidade e os riscos desse sistema de economia comunitária. Noori, Korevaar e Ramirez (2021) apontam que a falta de medição e registro adequados agrava esses problemas. Haq et al. (2020) ressaltam que a necessidade de compartilhar conhecimentos se torna ainda mais crítica, especialmente na ausência de plataformas eficientes para monitoramento.

Do ponto de vista econômico, a SI pode reduzir custos de fabricação, mas também traz riscos, incertezas e custos adicionais, como despesas de transporte e tratamento de resíduos, além dos custos de transação, que envolvem a gestão e a coordenação das operações (Anane et al., 2023). Ji et al. (2020) complementam que a instabilidade na demanda, baixos preços de matérias-primas virgens e ausência de fundos de fomento específicos são barreiras econômicas significativas.

Na dimensão gerencial, Henriques, Castro e Azevedo (2021) apontam a ausência de procedimentos formais, falta de recursos humanos e técnicos e a necessidade de mudanças em outras dimensões como desafios críticos. A falta de tempo e recursos das empresas também é um problema recorrente, já que investimentos em tempo e atividades administrativas podem não ser viáveis diante de fluxos de materiais reduzidos (Harfeldt-Berg; Broberg; Ericsson, 2022).

Hamam et al. (2023) indicam que, na dimensão geográfica, longas distâncias comprometem a viabilidade econômica das trocas simbióticas e dificultam o estabelecimento de confiança e cooperação entre as empresas. O transporte dos resíduos demanda alta coordenação e sincronização dentro da rede.

A ausência de intermediários, como atores políticos, comunidade, agentes de conhecimento e indústrias, resulta na ausência de coordenação e apoio necessários para consolidar a iniciativa de SI (Boom-Cárcamo; Peñabaena-Niebles, 2022). Azevedo et al. (2021) acrescentam que barreiras inesperadas frequentemente surgem durante a implementação devido a abordagens sistemáticas incompletas e falta de informações adequadas. Assim, é essencial promover procedimentos de orientação eficazes para apoiar as empresas na transição para um sistema completo e bem-sucedido de SI.

2.2.2 Impulsionadores e facilitadores para a implementação de SI.

Na esfera social, é fundamental promover transparência e confiança entre empresas por meio do compartilhamento de informações. Líderes e empresários devem ser incentivados a adotar conceitos da Economia Circular e a considerar os impactos ambientais de suas atividades. Redes internas e externas facilitam a integração das empresas, enquanto agentes do conhecimento e entidades governamentais conectam-se com a comunidade local, promovendo o desenvolvimento sustentável (Faria; Caldeira-Pires; Barreto, 2021).

Para aumentar a sensibilidade social, é essencial que o setor envolva a comunidade através de campanhas de conscientização e incentivos para ações circulares e sustentáveis. Isso não apenas direciona as comunidades para práticas mais conscientes, mas também fornece valiosos insights aos formuladores de políticas, auxiliando na criação de regulamentações alinhadas às necessidades locais (Scandurra et al., 2023).

Conforme Huang, Wang e Li (2022), à medida que a rede se expande e a cooperação entre as unidades simbióticas se fortalece, há um aumento nos investimentos em relacionamentos, redução de conflitos e custos de transação, e maior compartilhamento de

informações e recursos. Na dimensão política, Henriques, Castro e Azevedo (2021) destacam a importância de um quadro de política industrial que atue em diferentes níveis — nacional, regional e local — para facilitar sinergias, simplificar a classificação de resíduos e promover o comércio de subprodutos. Além disso, é necessário desburocratizar processos e desenvolver programas que incentivem a Economia Circular.

Södergren e Palm (2021) apontam que governos locais desempenham diferentes papéis de governança na SI, geralmente atuando como facilitadores ou provedores. Esses governos promovem e gerenciam redes de simbiose industrial, além de fornecer infraestrutura, financiamento e informações. Eles também podem adotar mecanismos de autogovernança para desenvolver políticas e regulamentações, além de gerenciar fluxos de materiais e recursos. Nesse contexto, Chertow et al. (2019) afirmam que os decisores políticos têm um papel crucial na facilitação e incentivo de colaborações. Os autores mencionam o impacto do apoio público em iniciativas como o Programa Nacional de Simbiose Industrial do Reino Unido e o Sistema Nacional de Parques Eco-industriais da Coreia do Sul.

Além de fornecer instrumentos econômicos e regulamentares, o governo pode adotar medidas que influenciam indiretamente o comportamento das empresas e promovam práticas sustentáveis. Entre essas medidas estão a gestão eficiente de resíduos, aplicação de penalidades e o aumento de impostos sobre a disposição inadequada de resíduos (Lybæk; Christensen; Thomsen, 2021).

Embora os benefícios econômicos sejam determinantes para as relações simbióticas, benefícios ambientais, como a redução do consumo de recursos naturais e das emissões de gases de efeito estufa, podem justificar o estabelecimento de sinergias, mesmo sem ganhos financeiros diretos. Em tais casos, é essencial que governos locais e nacionais ofereçam incentivos para promover essas práticas (Neves et al., 2019).

No contexto econômico, a identificação de oportunidades de economia de recursos, como água, energia e matéria-prima, é essencial para motivar o envolvimento. Além disso, a redução de custos, especialmente em impostos sobre aterros e resíduos, e o apoio financeiro de intermediários, como bancos e entidades privadas, contribuem para fomentar soluções sustentáveis e eficientes (Anane et al., 2023).

Na dimensão gerencial, a adoção de novas abordagens de negócios que gerem benefícios econômicos e ambientais, juntamente com instrumentos que padronizam e formalizam iniciativas de sinergia, são impulsionadores-chave para o sucesso. A otimização de custos

operacionais e o foco na eficiência energética também são fatores críticos (Halfeld-Berg; Broberg; Ericsson, 2022).

Na dimensão tecnológica, a implementação da SI requer o uso de tecnologias de modelagem, otimização e simulação, além de instalações flexíveis. Redes tecnológicas que integram processos, avanços contínuos na indústria e monitoramento eficaz são essenciais para o sucesso das colaborações (Hossain et al., 2024). Logística e proximidade geográfica desempenham papéis fundamentais na SI. Uma logística eficiente facilita a gestão de resíduos, enquanto a proximidade geográfica fortalece a confiança entre as partes e reduz custos de transporte (Hamam et al., 2023).

Os intermediários são cruciais na transferência de conhecimento e no fortalecimento das iniciativas de colaboração. A presença do governo, de grandes empresas e de agentes do conhecimento é fundamental. Além disso, entidades nacionais e regionais que promovem práticas empresariais, tecnológicas e estratégicas são essenciais para o sucesso da rede (Patala; Salmi; Bocken, 2020). Esses intermediários desempenham três papéis principais: facilitar, configurar e intermediar a rede de SI. Para que novos projetos avancem, é necessário suporte externo para superar obstáculos e promover o engajamento das partes envolvidas (Corsini; Bernardi; Frey, 2024).

2.3 Simbiose Industrial e sua aplicabilidade aos Sistemas Agrícolas

Segundo Chertow et al. (2019) e Noori, Korevaar e Ramirez (2021), o potencial de simbiose refere-se ao somatório de resíduos, subprodutos, água e energia gerados por instalações industriais em uma área específica, que podem ser utilizados como insumos em outros processos ou por empresas próximas. Esse conceito é frequentemente aplicado em uma escala regional, visando identificar e mapear resíduos e indústrias próximas para descrever o potencial de simbiose em cidades, ecoparques industriais ou clusters (Golev; Corder; Giurco, 2015; Liwarska-Bizukojc; Bizukojc, 2018; Chertow et al., 2019; Artacho-Ramírez et al., 2020; Pradhita et al., 2020; Noori; Korevaar; Ramirez, 2021; Behzad et al., 2024).

A pesquisa de Azevedo et al. (2021) é a única que propõe uma ferramenta específica para avaliar as condições preliminares e o potencial de uma empresa se envolver em uma rede de simbiose industrial. Identificar o potencial efetivo para o compartilhamento de recursos é um ponto de partida crucial para a implementação de vínculos simbióticos. No entanto, Noori, Korevaar e Ramirez (2021) observam que a definição e os métodos de avaliação de potencial ainda são pouco abordados na literatura.

A ausência de ferramentas adequadas para quantificar o potencial simbiótico pode dificultar a implementação de programas de Simbiose Industrial em larga escala, impedindo empresas e decisores políticos de compreenderem plenamente o potencial de uma determinada região (Behzad et al., 2024). No entanto, Yeo et al. (2019) argumentam que o problema não é a falta de ferramentas, mas sim o foco excessivo em métodos qualitativos e quantitativos voltados para a identificação de oportunidades e sinergias, com ênfase na avaliação dessas interações.

Devido à sua universalidade teórica, a Simbiose Industrial é amplamente aplicada em diversos campos temáticos (Shuting; Hong; Qing, 2019). Segundo Henriques, Castro e Azevedo (2021), o setor do agronegócio apresenta oportunidades significativas, uma vez que possui margens de lucro modestas, tornando-se receptivo a novas oportunidades de criação de lucros. Os sistemas agrícolas também podem se beneficiar dos princípios da simbiose industrial, tanto em grande escala em países desenvolvidos quanto em pequenas explorações agrícolas (Alfaro; Miller, 2014).

O caso de Kalundborg exemplifica a interseção entre as abordagens industrial e agrícola da Economia Circular. Nesse sistema, os agricultores locais foram integrados ao ambiente industrial, utilizando o excesso de calor das indústrias para aquecer um viveiro de peixes, aumentando a produção. Simultaneamente, o lodo do viveiro foi transformado em fertilizante comercializado, enquanto os resíduos orgânicos das fazendas foram aproveitados por uma empresa farmacêutica, e o lodo residual foi redistribuído para as fazendas locais (Alfaro; Miller, 2014).

Na pesquisa de Haq et al. (2020), o objetivo foi desenvolver uma possível arquitetura de simbiose industrial, unindo participantes do setor energético e três do setor agrícola, através da quantificação dos valores monetários e custos envolvidos. Saghafi e Roshandel (2024) identificaram possibilidades de simbiose industrial envolvendo uma granja de galinhas, uma granja de vacas, um laticínio, uma fábrica de óleo comestível e uma planta combinada de calor e energia. O modelo proposto demonstrou que a energia baseada em combustíveis fósseis consumida pelas indústrias diminuía e que todos os fluxos de resíduos poderiam ser recuperados.

A grande quantidade de resíduos gerados pela indústria alimentar representa não apenas uma significativa perda de materiais valiosos, mas também sérios problemas de gestão do ponto de vista econômico e ambiental. No entanto, muitos desses resíduos têm potencial para serem reutilizados em outros sistemas de produção, como nas biorrefinarias, que utilizam matéria-

prima de biomassa em substituição às fósseis. O primeiro passo para a aplicação da simbiose industrial na agricultura ou no setor de transformação alimentar é a identificação, quantificação e caracterização dos resíduos (Mirabella; Castellani; Sala, 2014).

A reutilização de resíduos agrícolas envolve uma série de processos sequenciais para encontrar a aplicação adequada para cada tipo de resíduo. É crucial que as empresas identifiquem o potencial real de todas as substâncias que não fazem parte do produto, reconhecendo-as como fonte de receita em vez de custos de descarte. Nesse contexto, a inovação tecnológica e de processos desempenha um papel essencial, permitindo a adoção de novas tecnologias para valorizar os resíduos (Sbaffoni et al., 2022).

A composição dos resíduos orgânicos muda rapidamente devido a processos biológicos, como decomposição ou fermentação. Assim, a Simbiose Industrial, com seu foco em uma abordagem descentralizada e local, parece ser particularmente promissora para a reutilização e reciclagem ágil e de alto valor dos resíduos orgânicos (Lange et al., 2017).

No trabalho de Cioca et al. (2021), investigaram-se os efeitos econômicos do uso de biossólidos (produzidos a partir do lodo de esgoto) na agricultura. A reciclagem de lodo de esgoto na agricultura pode resultar em economia significativa em fertilizantes químicos, trazendo benefícios econômicos, ambientais e sociais, como a melhoria da qualidade do solo, o aumento da produtividade, a redução da dependência de fertilizantes químicos e a diminuição dos custos de produção.

No estudo de Viana et al. (2023), foi aplicada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para quantificar os impactos ambientais da produção de flocos de aveia no nordeste do Canadá, analisando dois possíveis cenários de simbiose: a transformação de resíduos em alimentação para animais de fazenda ou compostagem. Para Duguma et al. (2023), os resíduos agrícolas são frequentemente utilizados como ração animal ou fertilizantes, o que representa um baixo valor econômico. Uma alternativa de maior valor econômico é a reciclagem desses resíduos em monômeros e aditivos para a produção de biopolímeros e biocompósitos, promovendo o desenvolvimento de embalagens mais sustentáveis e funcionais.

Bejenaru et al. (2024) argumentam que os resíduos agrícolas são ricos em compostos bioativos, como polifenóis, proteínas e carboidratos, representando um caminho viável para a produção de compostos farmacêuticos. No entanto, os desafios incluem a variabilidade na composição dos resíduos, a escalabilidade e os custos elevados. Albarracin et al. (2024) avaliaram o potencial energético do biogás gerado a partir dos principais resíduos líquidos do

processamento do café, destacando que essa produção de biogás é altamente vantajosa para as fazendas, podendo suprir todas as suas necessidades energéticas.

No estudo conduzido por Huang, Wang e Li (2022), foram selecionadas 552 fazendas familiares de cultivo agrícola com o objetivo de estabelecer uma estrutura de sistema de simbiose na cadeia da agricultura familiar. O intuito era promover o desenvolvimento saudável e sustentável dessas fazendas através de um modelo simbiótico contínuo, simétrico e recíproco. Para os agricultores, é essencial transformar as ideias compartilhadas sobre o sistema alimentar para criar oportunidades que permitam identificar sinergias e compromissos (Jagustović et al., 2021).

Para promover a Economia Circular no setor agrícola, é crucial maximizar os efeitos positivos e mitigar os negativos nos fluxos de materiais e energia das propriedades agrícolas. A reutilização ou transformação de resíduos agrícolas em matéria-prima pode ser uma ação incentivada, considerando que a complexidade dos sistemas de entrada e saída de materiais e energia na agricultura varia conforme cada propriedade rural específica (Barros et al., 2020).

Os resíduos e subprodutos agrícolas são comumente referidos como materiais vegetais ou animais que não são utilizados diretamente como alimentos ou rações. No entanto, esses resíduos podem ser transformados em recursos importantes por meio de processos de conversão avançados, resultando em novos produtos de alto valor agregado, como bioenergia, biofertilizantes, biomateriais e biomoléculas (Donner et al., 2021).

Esse setor é reconhecido por seu alto consumo de recursos e pela produção considerável de resíduos. Contudo, a implementação de princípios de Economia Circular oferece ao agronegócio a chance de diminuir o desperdício, aprimorar a eficiência no uso de recursos, promover métodos de produção sustentáveis e ter um impacto positivo na preservação ambiental (Khan; Mahajan, 2023).

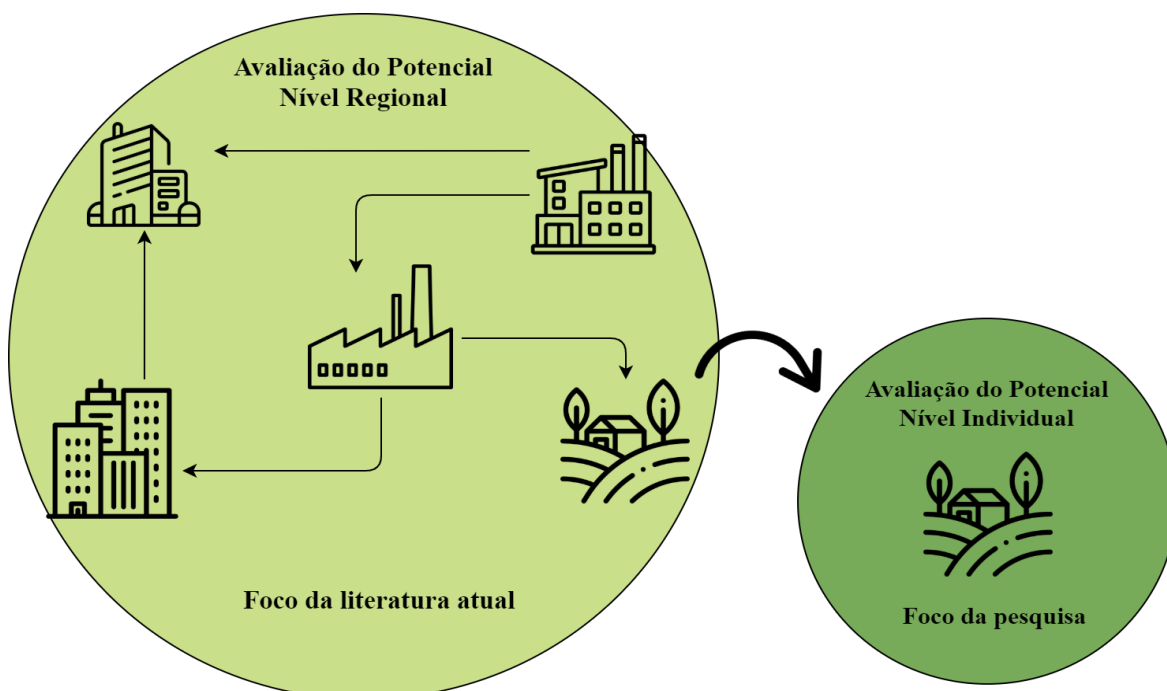
3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa é caracterizada como descritiva, delimitada por meio de um estudo de caso baseado na coleta de dados qualitativos. Segundo Gil (2022), as pesquisas descritivas têm como objetivo relatar imparcialmente uma realidade, destacando as características da população ou fenômeno estudado. O estudo de caso, por sua vez, permite uma análise mais aprofundada e flexível.

Para embasar a investigação, realizou-se um mapeamento da literatura a partir de artigos científicos nas bases de dados: *Scopus* e *Web of Science*, utilizando como palavras-chave “*Industrial Symbiosis*”, “*Circular Economy*”, “*Barriers*”, “*Facilitators*”, “*Drivers*”, “*Industrial Symbiosis Potential*”, “*Agriculture*”, “*Agribusiness*” e “*Farm*”. A busca foi limitada a trabalhos publicados entre 2020 e 2024. Durante a revisão desses artigos, foram identificadas referências adicionais citadas pelos autores, que se mostraram relevantes para o aprofundamento do estudo. Conseqüentemente, a base de dados inicial foi ampliada.

Com base na literatura revisada, o conceito de Potencial de Simbiose Industrial adotado neste trabalho é explorado para analisar as condições preliminares ao envolvimento em práticas de SI. Diferentemente de estudos focados em uma análise regional, este trabalho conduz a investigação em um nível micro, conforme ilustrado na Figura 4, permitindo uma compreensão mais detalhada do potencial de simbiose em contextos específicos.

Figura 4: Delimitação do estudo

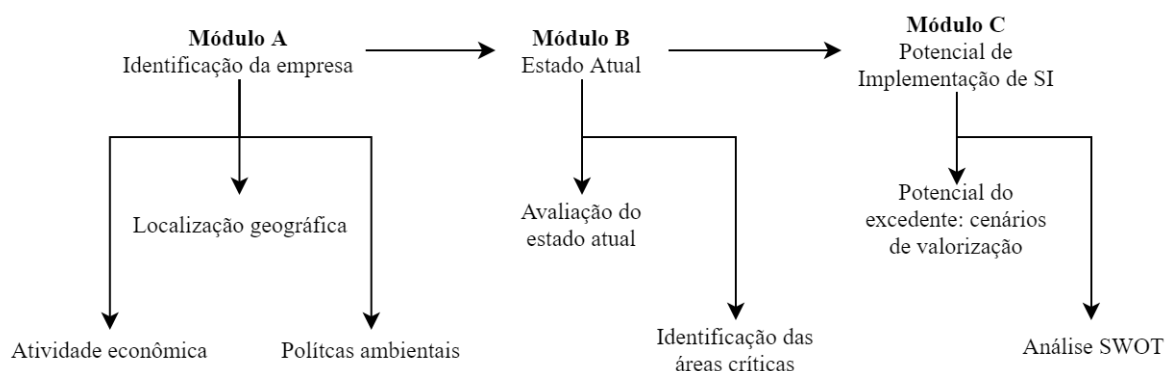


Fonte: Elaborado pelo autor

Para atender aos objetivos e a delimitação desta pesquisa, adotou-se uma metodologia fundamentada na ferramenta sequencial baseada em módulos, a qual auxilia as empresas na avaliação de seu potencial para desenvolver e implementar cenários de SI, desenvolvida por Azevedo et al. (2021). Embora inicialmente concebida para a indústria, a ferramenta foi reformulada para aplicação em uma fazenda.

A finalidade da ferramenta é facilitar a avaliação das condições atuais e o potencial de implementação por meio da identificação de cenários de valorização do excedente (saída do processo que não corresponde ao produto e não agrega valor para a empresa). Essa abordagem visa gerar benefícios tanto econômicos quanto ambientais para a empresa. A ferramenta utilizada na pesquisa é constituída por 3 módulos: Identificação da Empresa (módulo A), Avaliação do Estado Atual (módulo B) e o Potencial de Implementação (módulo C). A Figura 5, resume a estrutura da ferramenta e como os módulos são caracterizados.

Figura 5: Estrutura dos módulos da ferramenta para avaliação de potencial de SI



Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2021)

3.1 Módulo A – Identificação da Empresa

O módulo inicial concentra-se na identificação e caracterização da atividade econômica, localização geográfica e práticas ambientais. Para isso, é aplicado um questionário simplificado que abrange informações como o tipo de negócio, o número de funcionários, o faturamento anual, a localização e o sistema de gestão ambiental.

Esses dados permitem avaliar o perfil da organização e identificar áreas que possam necessitar de atenção ou aprimoramento. No Quadro 3, presente no Anexo A, é possível observar os campos e seus respectivos objetivos técnicos e perguntas realizadas.

O questionário simplificado foi projetado para coletar informações de forma direta. As respostas obtidas neste primeiro módulo desempenharam um papel fundamental na avaliação da viabilidade de implementação dos cenários potenciais identificados no módulo C.

3.2 Módulo B – Avaliação do Estado Atual (maturidade)

O segundo módulo concentra-se na avaliação do estado atual da empresa em relação ao acompanhamento dos fluxos e destinos de materiais e excedentes. Durante essa avaliação, é verificado se a empresa já adota práticas simbióticas, que envolvem interações benéficas entre diferentes componentes.

O Quadro 4, presente no Anexo A, indica as perguntas relacionadas a sete campos essenciais para identificar a situação da empresa: insumos, excedentes, disposição dos excedentes, recuperação/reciclagem, SI intraorganizacional, SI interorganizacional remetente (o excedente é valorizado por outra empresa), SI interorganizacional receptor (a empresa recebe excedentes de outras empresas como entradas nos seus processos). Essas áreas são descritas na pesquisa de Azevedo et al. (2021) como uma forma de visualizar o estado atual da empresa, pois identifica-se as entradas do processo, os excedentes originados e as possíveis destinações dos excedentes.

O estado atual é representado por um valor numérico de 0 a 1. Em que, 0 corresponde a uma empresa que não monitora seus fluxos de materiais, insumos e excedentes, e não adota práticas de simbiose industrial. Enquanto o valor 1 representa uma empresa que monitora integralmente todas as suas entradas e saídas, além de já ter implementado algum tipo de troca simbiótica.

Essa avaliação quantitativa é fundamental para identificar as áreas que requerem intervenção e, conseqüentemente, aquelas que estão menos desenvolvidas. Dessa forma, a empresa pode direcionar seus esforços de melhoria de maneira mais eficaz. Assim sendo, a Equação 1 permite calcular o nível de maturidade atual da empresa através da soma das notas (0 a 1) associadas às áreas citadas no Quadro 4.

A Equação 1, obtém um resultado quantitativo considerando o mesmo peso para todas as áreas. Logo, empresas com um estado atual próximo de 0 têm um grande potencial para implementar práticas de simbiose industrial. Por outro lado, empresas com um estado atual próximo de 1 já possuem algum controle em suas práticas, mas ainda precisam explorar diferentes abordagens para valorizar seus excedentes.

$$\text{Estado atual} = \sum_1^7 \text{área } i \frac{1}{7} \quad (1)$$

Para cada campo de análise foi criada uma escala de cinco respostas para simbolizar os vários níveis do monitoramento, com seus respectivos pesos associados conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Escala de interpretação para avaliação de maturidade

Possível resposta	Ponderação
Não, em qualquer cenário	0
Sim, alguns dos materiais/saídas em casos específicos	0,25
Sim, todos os materiais/saídas em casos específicos	0,5
Sim, alguns dos materiais/saídas sistematicamente	0,75
Sim, todos os materiais/saídas sistematicamente	1

Fonte: Azevedo et al. (2021)

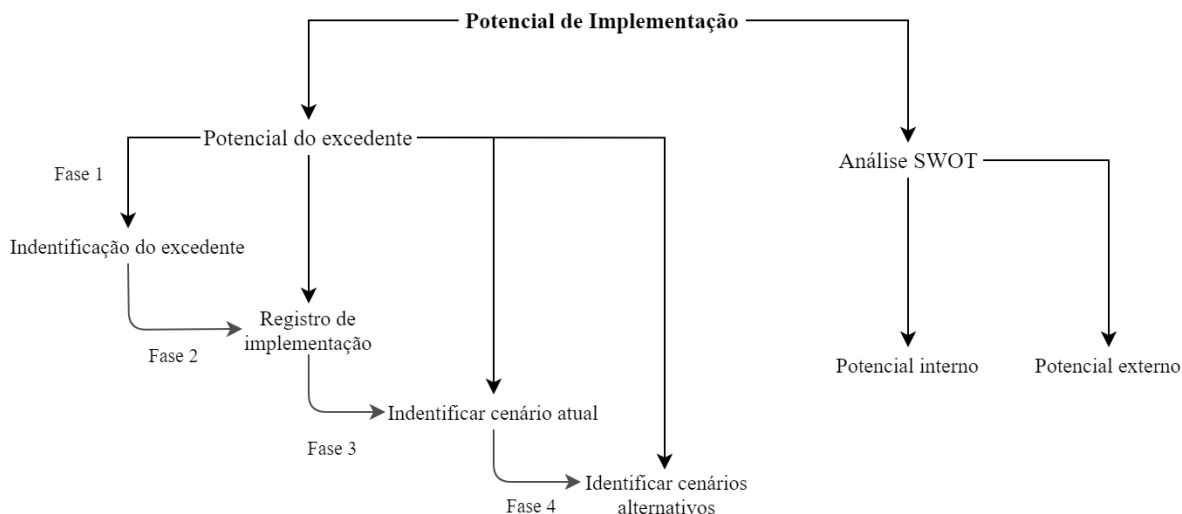
Vale ressaltar, que para todos os campos esta é a escala de interpretação, exceto para a área “disposição” que é a escala oposta, caso a resposta for “Não” em qualquer cenário a ponderação é 1, já se a resposta for “Sim”, a ponderação é 0.

3.3 Módulo C – Avaliação do Estado Potencial

O último módulo concentra-se na avaliação dos cenários potenciais para a implementação de sinergias, identificando cenários de valorização dos excedentes apontados no Módulo B. Além disso, é realizada a análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) para identificar o potencial interno e externo.

O módulo C, é composto por dois submódulos principais: o primeiro é voltado para analisar o potencial do excedente visualizando os cenários alternativos de valorização dos excedentes. O segundo submódulo é a aplicação da análise SWOT baseada em fatores internos e externos que influenciam positiva e negativamente a implementação de SI. A Figura 6 resume a estrutura do módulo C.

Figura 6: Estrutura do Módulo C (Potencial de Implementação)



Fonte: Elaborado com base em Azevedo et al. (2021)

O submódulo de Potencial do Excedente é estruturado em quatro fases sequenciais, conforme ilustrado no Quadro 1. Essas fases devem ser realizadas na ordem estabelecida para garantir a obtenção das informações de forma mais eficaz e precisa.

Quadro 1: Fases para a avaliação do potencial do excedente

Fase	Descrição
Fase 1	Identificação do excedente: avaliar a situação dos excedentes, classificando como subproduto ou resíduos, verificando as possibilidades para valorização e identificando se há existe legislação que classifiquem os resíduos como não adequado para reutilização, impedindo estabelecer a troca simbiótica.
Fase 2	Registro de implementação: nessa fase ocorre a busca por práticas já realizadas para esse excedente, ou seja, busca-se sinergias que permitam replicar os cenários de valorização.
Fase 3	Identificar o cenário atual: descrever o cenário atual, verificar se há custos relacionados ao descarte ou aproveitamento do excedente de forma interna ou aproveitamento por parte externa.
Fase 4	Identificar cenários alternativos: com os dados realizados nas fases anteriores, compara-se os custos incorridos no cenário atual com os custos com cenários futuros. O cenário que apresenta a melhor opção econômica ou minimizar as perdas é o melhor cenário possível.

Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2021)

É importante ressaltar, que as fases 3 e 4 foram simplificadas para facilitar a aplicação na fazenda e obtenção de dados. Partindo disso, segue-se para o segundo submódulo, que se refere

a análise SWOT. Com base nas informações coletadas nos módulos anteriores, é possível identificar os pontos fortes e fracos internos da empresa, bem como as oportunidades e ameaças externas. A análise SWOT é uma ferramenta de apoio para os *stakeholders* na identificação das principais barreiras e na definição das ações prioritárias para a posterior implementação de práticas de simbiose industrial.

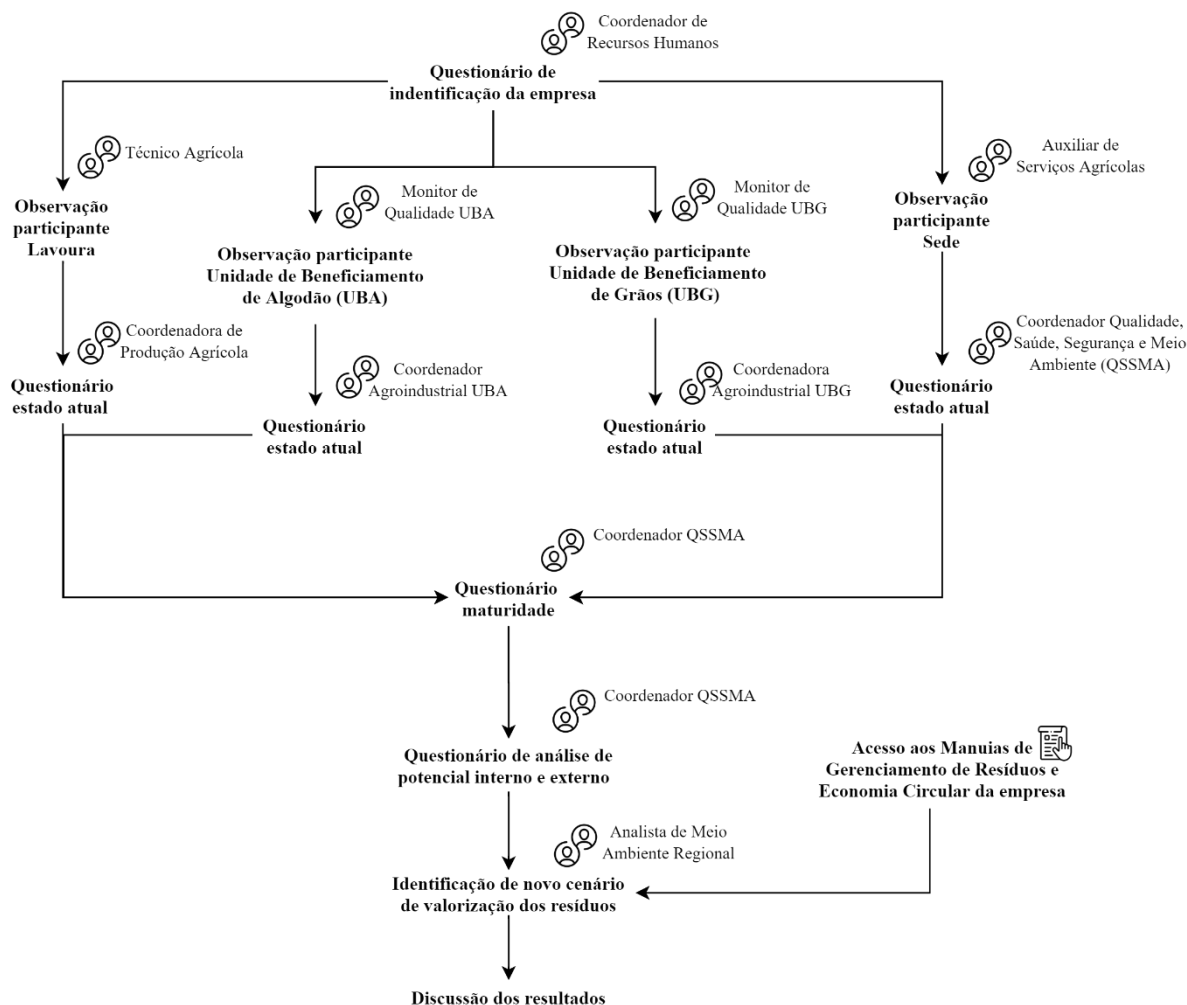
Azevedo et al. (2021) considera seis campos de estudos que estão associados às principais barreiras contra a implementação: gestão, economia, logística, tecnologia, recursos humanos, gestão ambiental e jurídica. Os Quadros 5 e 6, presentes no Anexo A, apresentam os campos e seus respectivos objetivos técnicos e perguntas. Uma vez implementados os três módulos sequenciais, é possível definir o estado atual da empresa e suas principais áreas de intervenção, identificar as possibilidades de valorização do excedente, e compilar os principais fatores positivos e negativos que podem influenciar na implementação do cenário.

3.4 Instrumento de Pesquisa

A aplicação da ferramenta é realizada por meio de questionários com perguntas de respostas fechadas, desenvolvidos por Azevedo et al. (2021), e alinhados aos objetivos da pesquisa. De acordo com Gil (2019), os questionários são de fácil aplicação, permitem que os entrevistados respondam no momento mais conveniente e evitam a influência das opiniões do entrevistador sobre os respondentes.

Conforme mencionado anteriormente, a ferramenta foi reformulada para aprimorar a coleta de dados. Para isso, foram realizadas observações participantes na fazenda, que serviram como base para a elaboração de questionários específicos por área, denominados questionários de estado atual. Esses questionários estão disponíveis no Apêndice A. O estado atual, conforme proposto por Azevedo et al. (2021), será referido como maturidade. Dessa forma, o Módulo B abrange as observações participantes, os questionários sobre o estado atual e o questionário de maturidade. Na Figura 7, é possível identificar o sequenciamento das etapas da pesquisa e os envolvidos em cada etapa.

Figura 7: Instrumento de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

As observações participantes constituíram a primeira fase de coleta de dados do módulo B, proporcionando uma compreensão inicial da realidade da fazenda. Com base nas informações obtidas nessa etapa, foram elaborados questionários específicos por área, focados no estado atual. A observação participante é uma técnica de coleta de dados que reduz a distância entre o pesquisador e a situação observada. Durante esse processo, os eventos de maior interesse vão sendo selecionados conforme surgem, o que confere flexibilidade à abordagem. Inicialmente, a observação descritiva busca capturar a maior complexidade possível do ambiente estudado. Em seguida, a atenção se volta para os processos e problemas mais relevantes para a pesquisa (Flick, 2012).

A partir dessa base inicial, para identificar potenciais relações de sinergia e avaliar sua viabilidade, é fundamental, conforme apontado por Neves et al. (2019), iniciar com a coleta de informações e dados quantitativos. Métodos como entrevistas, questionários, visitas ao local e

grupos focais são amplamente utilizados. Além de conhecer os potenciais participantes, é crucial obter dados detalhados sobre a quantidade e os tipos de resíduos e subprodutos disponíveis, elementos essenciais para a análise da viabilidade dessas relações.

As observações, conforme ilustrado na Figura 7, contaram com a participação de colaboradores diretamente envolvidos nas áreas estudadas, o que permitiu uma condução mais direcionada e eficiente do processo. Posteriormente, os questionários sobre o estado atual foram aplicados aos respectivos coordenadores das áreas.

Os questionários de maturidade e potencial de implementação foram direcionados ao Coordenador de QSSMA, responsável pelas atividades de gerenciamento de resíduos e diretamente envolvido nos novos projetos específicos da fazenda que estão em fase de implementação. Para uma análise mais abrangente da situação futura da fazenda, foi desenvolvido um questionário específico para a Analista de Meio Ambiente Regional, que supervisiona as fazendas do grupo localizadas no Maranhão. Essa analista atua na área de sustentabilidade da empresa e mantém vínculo direto com a matriz.

O questionário de novo cenário, descrito no Apêndice B, tem como objetivo identificar as novas práticas previstas para valorização ou reciclagem dos resíduos que melhor se adequam a realidade e as características dos resíduos, além disso, visa apontar os fatores que impactam na implementação, este questionário, juntamente com o questionário de potencial interno e externo, compõem o Módulo C da pesquisa. Além desses questionários, foram consultados o Manual de Gerenciamento de Resíduos e o Manual para Economia Circular, desenvolvido pelo grupo ao qual a fazenda pertence. Este último, detalha as práticas previstas para implementação até 2026.

Por último, é relevante salientar que a pesquisa foi conduzida com rigor ético, respeitando os princípios de confidencialidade e consentimento informado. Todas as etapas de coleta de dados, incluindo observações e aplicação de questionários, foram realizadas com a autorização formal da empresa participante. Essa autorização assegurou o acesso às instalações e informações necessárias, permitindo uma análise detalhada sem comprometer a privacidade ou os interesses da organização. Além disso, todas as informações obtidas foram tratadas de maneira ética, sendo utilizadas exclusivamente para os fins deste estudo, em conformidade com as normas éticas aplicáveis à pesquisa científica.

3.5 Unidade de análise

A fazenda selecionada como unidade de análise pertence a uma das maiores empresas agrícolas do Brasil, destacando-se como uma das principais produtoras de commodities agrícolas. A empresa cultiva aproximadamente 670 mil hectares, distribuídos em 22 unidades de produção localizadas em sete estados da região do Cerrado. Além de se destacar na produção de algodão, milho e soja, a empresa também atua na integração lavoura-pecuária, com criação de gado, e na comercialização de sementes de soja e algodão.

A unidade de análise está localizada na Serra do Penitente, no sul do Maranhão, uma região agrícola de grande importância para o estado, que abriga diversas fazendas dedicadas à produção agrícola. A fazenda em questão se sobressai pela produção de soja, milho e algodão e possui uma Unidade de Beneficiamento de Algodão (UBA) e uma Unidade de Beneficiamento de Grãos (UBG).

A UBG conta com três silos metálicos, cada um com capacidade de armazenamento de 10.000 toneladas, além de dois silos do tipo chinês, com capacidade de 15.000 toneladas cada. Já a UBA processa todo o algodão produzido na fazenda, bem como o algodão proveniente de outra fazenda pertencente ao grupo. A UBA tem capacidade para produzir 1.500 fardos com peso médio de 225 kg por fardo, por dia.

A fazenda possui área própria de 26.126 hectares, área plantada de 45.695 hectares. E dispõe de uma área de aproximadamente de 110 ha destinados a ensaios de campo onde são avaliados o comportamento e a resposta das culturas agrícolas a tratamentos culturais, além de ensaios fitotécnicos avaliando adaptabilidade e estabilidade de genótipos. Têm sido realizados também estudos de nutrição, controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Na Safra 2023/2024, a produção agrícola da fazenda foi a seguinte:

- Soja: Área plantada: 19.173 hectares, produtividade: 64,15 sacas/hectare
- Milho: Área plantada: 9.759 hectares, produtividade: 89,17 sacas/hectare
- Algodão: Área plantada: 13.246 hectares, produtividade 274,60 arroba/hectare

A produção de algodão da fazenda é certificada pelo Algodão Brasileiro Responsável (ABR) e pela *Better Cotton Initiative* (BCI), que validam as boas práticas socioambientais adotadas no cultivo. Já a produção de soja e milho conta com a certificação *Round Table on Responsible Soy* (RTRS). A RTRS é uma iniciativa internacional que promove o cultivo sustentável e a responsabilidade social no setor global de soja. Ela reúne todas as partes interessadas nos setores de produção de soja e milho, com o objetivo de abordar questões ambientais, sociais e econômicas, incentivando práticas responsáveis ao longo das cadeias de

suprimentos. Sob a perspectiva econômica, a fazenda alcançou uma receita de R\$ 27.109.000,00 em 2023, resultando em um lucro líquido de R\$ 19.792.000,00 no exercício. Durante o ano, suas operações contaram com a contribuição de 378 colaboradores, incluindo profissionais fixos e temporários.











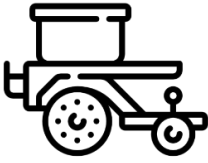















4. RESULTADOS

A análise das respostas do questionário de identificação evidenciou a necessidade de segmentar a pesquisa em quatro áreas específicas da fazenda: Produção Agrícola, Unidade de Beneficiamento de Algodão, Unidade de Beneficiamento de Grãos e Sede (social e operacional). Essa divisão permite uma compreensão detalhada dos processos e de suas particularidades em cada setor.

4.1 Produção Agrícola

A primeira etapa do ciclo de produção agrícola da fazenda é o planejamento estratégico, que se baseia nas condições atuais e nas projeções futuras do cenário nacional e internacional de commodities agrícolas. Após a aquisição e recebimento dos insumos nas fazendas, têm início as operações agrícolas, que incluem etapas como o preparo do solo, a semeadura, adubação, controle de pragas, combate a plantas daninhas, manejo de doenças e a colheita. Na figura 8, é identificado as principais etapas, insumos e resíduos gerados ao longo do ciclo de produção.

Figura 8: Etapas, insumos e resíduos

Insumos	Etapa	Resíduos
 Fertilizante mineral  Máquinas agrícolas	<p>Preparação do solo</p> 	Restos vegetais  Peças quebradas 
 Chuva  Sementes  Fertilizantes mineral  Produto biológico  Máquinas agrícolas	<p>Plantio</p> 	Embalagem de fertilizantes  Embalagem de produtos biológicos  Peças quebradas 
 Defensivos agrícolas  Fertilizante mineral  Produto biológico  Chuva  Máquinas agrícolas	<p>Cultivo</p> 	Embalagem de Defensivos  Embalagem de produtos biológicos 
 Máquinas agrícolas	<p>Colheita</p> 	Resíduos de colheita (palhas, restos de plantas)  Peças quebradas 

Fonte: Elaborado pelo autor

A preparação do solo é crucial para proporcionar as melhores condições ao desenvolvimento das culturas e inclui práticas como o uso de plantas de cobertura, controle de erosões, manutenção de condições físicas adequadas, manejo eficiente da infiltração de água, adoção do sistema de semeadura direta e equilíbrio no fornecimento de nutrientes.

A atividade de plantio envolve a semeadura das culturas, realizada com máquinas específicas para garantir a distribuição uniforme das sementes no solo, conforme a profundidade e o espaçamento ideais. Essa etapa inclui a aplicação inicial de fertilizantes minerais, como o calcário, que contribuem para o desenvolvimento das plantas e são essenciais para assegurar a produtividade agrícola.

O uso de produtos biológicos formulados a partir de subprodutos orgânicos, produzidos na biofábrica da fazenda, integra os insumos agrícolas essenciais para o plantio. Durante a etapa de plantio, destacam-se os inoculantes, aplicados nas sementes ou diretamente no solo, que

auxiliam na fixação de nitrogênio e estimulam o crescimento radicular. Além disso, os bioestimulantes contribuem para a melhoria da germinação e do vigor inicial das plantas, promovendo um desenvolvimento uniforme e saudável.

Durante o cultivo, são realizadas atividades intensivas de manejo para controlar pragas, doenças e ervas daninhas, o que inclui a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas. Nessa etapa, destaca-se também o uso de defensivos naturais produzidos na biofábrica, com base em micro-organismos. Esses defensivos contribuem para o equilíbrio dos ecossistemas e da biodiversidade do solo, além de reduzir o consumo de insumos químicos e água.

Como pode ser observado na Figura 8, a fazenda utiliza um sistema de cultivo que depende exclusivamente da água proveniente das chuvas, sem o uso de irrigação artificial. Essa prática é conhecida como agricultura de sequeiro, sendo aplicada em regiões com condições climáticas adequadas, como o Cerrado brasileiro.

Após o cultivo, tem-se a colheita, etapa final do ciclo produtivo agrícola. Este processo ocorre quando as culturas atingem o ponto de maturação ideal para sua retirada do campo, levando em conta fatores como a umidade do grão ou fibra, as condições do solo e a previsão do tempo. Ao concluir a colheita, são gerados resíduos orgânicos, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9: Resíduo de colheita (soqueira do algodão)



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resíduos gerados incluem restos vegetais, como palha, caules, folhas e cascas, que correspondem às partes não aproveitadas da produção principal. Esses resíduos, que variam

conforme a cultura, desempenham um papel essencial na cobertura do solo, contribuindo para a conservação da umidade e o controle da erosão.

No Cerrado brasileiro, a rotação de culturas é uma prática essencial para preservar a sustentabilidade do solo, dos recursos naturais e do sistema produtivo a longo prazo. Na Figura 9, observa-se um exemplo dessa prática, onde a cultura da soja se desenvolve sobre os restos do algodão cultivado na safra anterior.

Alinhada a esses princípios, a fazenda está incorporando práticas de agricultura regenerativa em suas lavouras, buscando aliar produtividade à sustentabilidade ambiental. Entre as principais iniciativas adotadas estão a aplicação localizada de defensivos, que reduz os impactos ambientais, o uso de defensivos biológicos, promovendo o equilíbrio ecológico, a rotação de culturas, que melhora a saúde do solo e o cultivo de plantas de cobertura. Na Figura 10, ilustra-se o plantio direto sobre o milheto, uma planta de cobertura cuja palhada também representa um importante resíduo orgânico gerado na atividade agrícola.

Figura 10: Palhada (milheto)



Fonte: Elaborado pelo autor

As plantas de cobertura são fundamentais no sistema de plantio direto, funcionando como uma proteção natural contra a erosão, melhorando a estrutura do solo e facilitando a ciclagem de nutrientes. Na unidade, espécies como braquiária, milheto, nabo forrageiro e crotalária são utilizadas por sua capacidade de criar uma camada protetora que diminui a

compactação, melhora a infiltração de água e inibe o crescimento de plantas daninhas. Além disso, essas culturas ajudam a elevar os níveis de matéria orgânica no solo, estimulando a atividade microbiológica e promovendo a sua saúde e fertilidade a longo prazo.

Essas práticas de manejo sustentam o cultivo das principais culturas da fazenda, que seguem um calendário específico. O período de cultivo da soja começa em torno de 20 de outubro e se estende até 15 de abril, enquanto o algodão é plantado a partir de 10 de dezembro, com a colheita finalizando em 30 de agosto. Já o milho, cultivado nas áreas destinadas à soja precoce, é semeado em 25 de janeiro e colhido até 15 de julho, sendo a cultura de menor produção na fazenda.

4.2 Unidade de Beneficiamento de Algodão

A Unidade de Beneficiamento de Algodão, apresentada na Figura 11, também conhecida como algodoeira, é uma instalação agroindustrial destinada ao processamento do algodão em caroço colhido no campo. Sua principal função é separar o algodão em fibra (pluma) e seus subprodutos. O algodão em caroço é processado nas máquinas e equipamentos da algodoeira para o beneficiamento, resultando na pluma como produto principal, que é comercializada majoritariamente no mercado externo para indústrias têxteis. Já os subprodutos gerados durante o beneficiamento incluem o briquete de algodão, o caroço de algodão e a fibrilha, sendo todos destinados ao mercado interno.

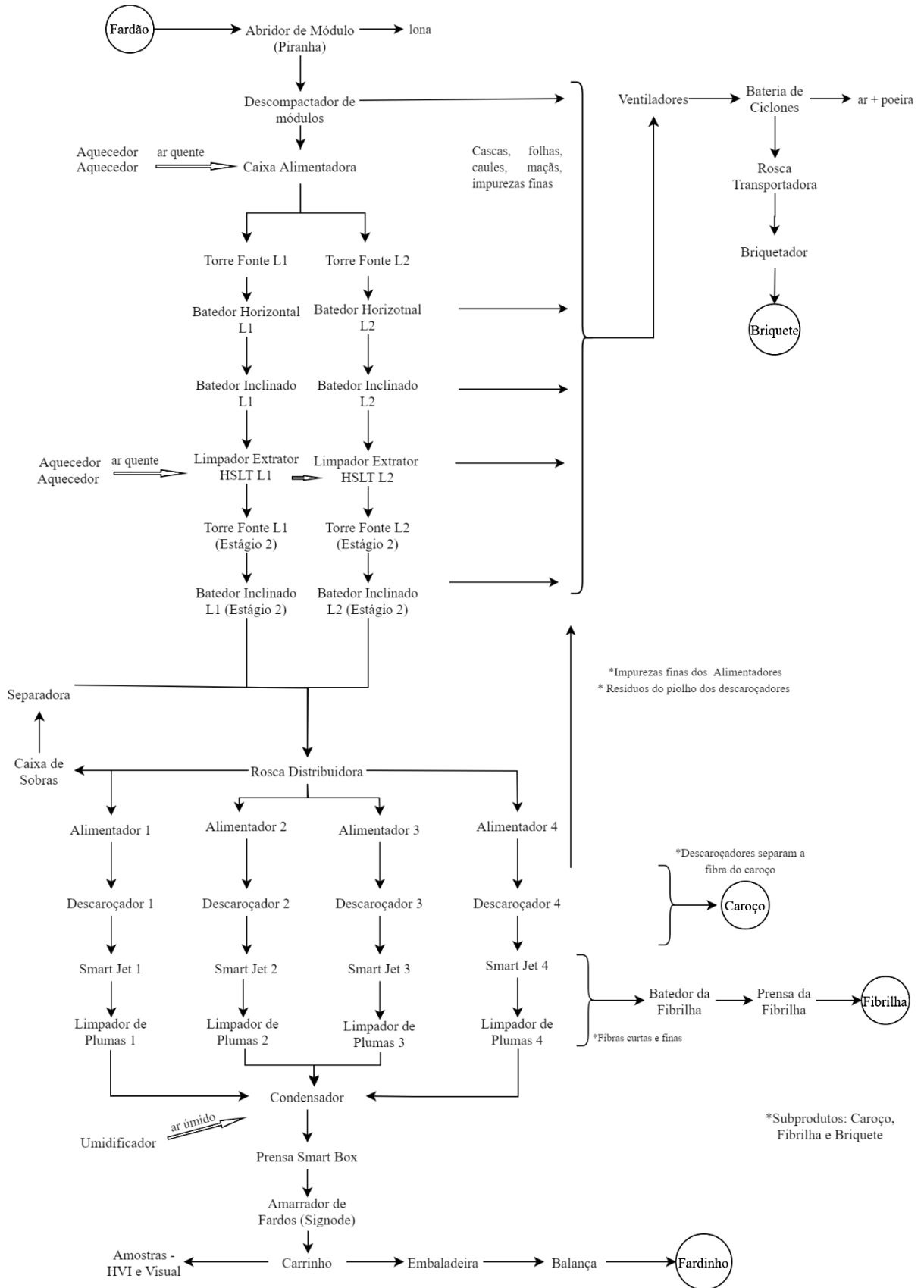
Figura 11: Unidade de Beneficiamento de Algodão



Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado na Figura 12, o processo inicia com a entrada do fardão de algodão em caroço no abridor de módulos, onde a lona que envolve o fardão é removida, permitindo que apenas o algodão em caroço siga para as etapas de secagem, limpeza, beneficiamento, limpeza da pluma e prensagem. Durante o processo de colheita, as impurezas geradas, como folhas, caules, maçãs do algodão e cascas, são removidas inicialmente pelo abridor de módulos e, de forma mais intensificada, pelos batedores, extratores, alimentadores e descaroçadores. Esses resíduos são destinados à produção de briquetes. As fibras curtas e finas, retiradas pelos *smart jets* e limpadores de plumas, são direcionadas para a produção de fibrilha. Por fim, o caroço é enviado ao galpão de armazenamento, onde ficará armazenado para posterior expedição.

Figura 12: Fluxograma da UBA



Fonte: Elaborado pelo autor

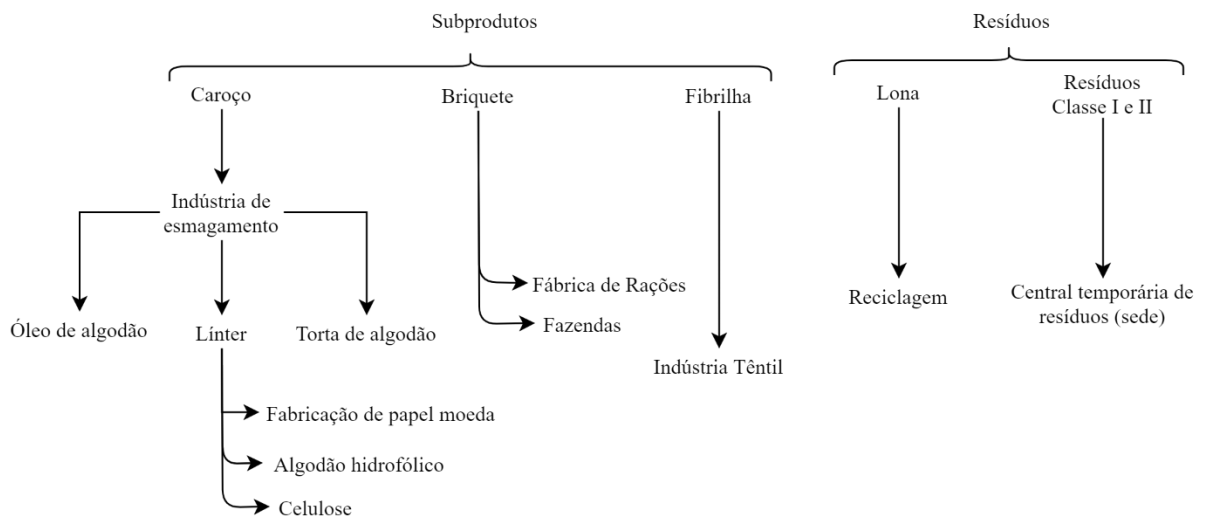
A Figura 13 apresenta os resíduos e subprodutos gerados, enquanto a Figura 14 detalha suas respectivas destinações.

Figura 13: Subprodutos e resíduos da UBA



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14: Destinação dos subprodutos e resíduos da UBA



Fonte: Elaborado pelo autor

O caroço de algodão é enviado para uma indústria de esmagamento em Sobral, Ceará, onde é processado em torta de algodão, utilizada para alimentação animal; óleo de algodão, destinado à alimentação humana; e línter de algodão, empregado na fabricação de papel moeda, celulose e algodão hidrofílico para produtos hospitalares, como gaze e tecidos.

O briquete é destinado à alimentação animal, sendo uma parte enviada para uma fábrica de ração em Balsas, no sul do Maranhão, e outra parte para fazendas no sul do Maranhão e próximas à divisa com o Piauí. A fibrilha segue para a indústria têxtil em Goiás, onde é transformada em tecidos de menor qualidade, como pano de chão.

As lonas usadas no início do processo e são retiradas por uma empresa de reciclagem terceirizada. Resíduos de Classe I e II são armazenados temporariamente na central da sede, onde são separados e enviados para empresas especializadas na reciclagem ou descarte adequado. Esses resíduos são detalhadamente explicados no Subitem 4.4.

4.3 Unidade de Beneficiamento de Grãos

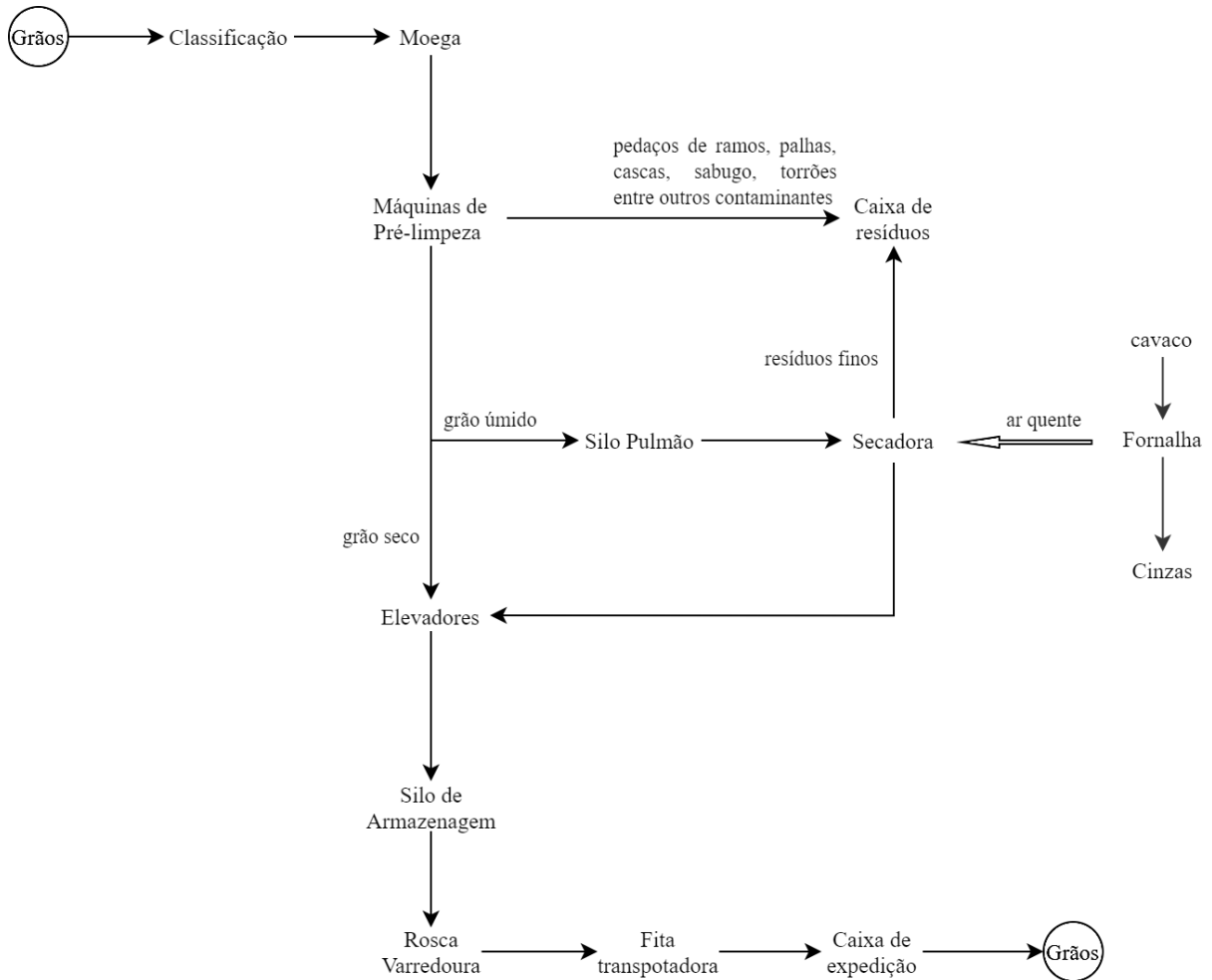
A Unidade de Beneficiamento de Grãos contempla as etapas finais do processo de produção, onde o produto adquire suas qualidades físicas, fisiológicas e sanitárias adequadas à comercialização. O beneficiamento se inicia a partir da colheita dos grãos nas lavouras, que são transportados por caminhões até a sede operacional. Na Figura 15 é apresentada uma imagem da UBG, enquanto a Figura 16 apresenta o fluxograma do setor.

Figura 15: Unidade de Beneficiamento de Grãos



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 16: Fluxograma da UBG



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao chegar na sede operacional, o produto é direcionado ao setor de classificação e, posteriormente, para a moega, estrutura que funciona como ponto de entrada dos grãos, encaminhando-os para as etapas seguintes do beneficiamento. Os grãos colhidos nas lavouras apresentam uma grande quantidade de contaminantes, como pedaços de ramos, palhas, vagens, torrões, entre outros. A retirada dessas impurezas é realizada por máquinas de Pré-limpeza, onde os grãos passam por peneiras vibratórias com diferentes tamanhos de crivos, permitindo a separação de partículas maiores e menores que os grãos. Os resíduos resultantes desse processo, por sua vez, são encaminhados para a caixa de resíduos, identificada na Figura 17.

Figura 17: Caixa de Resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor

A secagem é realizada quando os grãos apresentam umidade acima do estipulado na legislação e padrões internos, é uma operação que visa reduzir a umidade do produto, mantendo ao máximo a sua qualidade. Na secagem dos grãos, os secadores são responsáveis por gerar calor e essa fonte de calor vem através das fornalhas, a geração da fonte de calor é feita usando o cavaco proveniente da lenha de eucalipto, produzido na fazenda a partir da fragmentação de resíduos de madeira, como galhos, troncos e cascas. O uso do cavaco permite uma menor geração de resíduos.

O sistema de armazenamento dos grãos é composto por cinco silos, sendo três metálicos de fundo plano, cada um com capacidade de armazenar 10.000 toneladas, e dois silos chineses, com capacidade de 15.000 toneladas cada. Esses silos garantem que os grãos sejam mantidos em condições ideais, protegidos de fatores externos que possam comprometer sua integridade. Por fim, os grãos são armazenados temporariamente nas caixas de expedição, descarregados nos caminhões e expedidos.

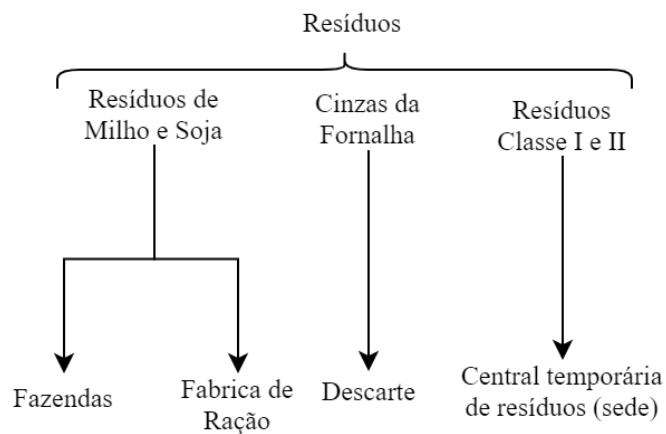
A Figura 18 apresenta os resíduos gerados, enquanto a Figura 19 detalha suas respectivas destinações.

Figura 18: Resíduos da UBG



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 19: Destinação dos resíduos da UBG



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resíduos de soja e milho gerados nas etapas de limpeza e secagem são destinados, em parte, a uma fábrica de rações e, em parte, a fazendas, ambas localizadas no Sul do Maranhão. Esses resíduos são utilizados principalmente na alimentação animal, mas também podem ser aproveitados na geração de energia, atuando como biomassa.

As cinzas geradas na fornalha são descartadas em um local específico dentro da fazenda, denominado de Central de Resíduos Orgânicos. Enquanto os resíduos das classes I e II são encaminhados para a Central Temporária de Resíduos.

4.4 Sede da fazenda

Os resíduos gerados na sede social, originados dos alojamentos e refeitório, juntamente com os resíduos da sede operacional, provenientes das unidades de beneficiamento, mecanização, almoxarifado e construção civil, são armazenados conforme suas características em coletores identificados por cores, de acordo com o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001. A classificação dos resíduos sólidos gerados é embasada na NBR 10.004. Para efeitos desta norma o resíduo não perigoso (reciclável) é denominado Classe II e resíduo perigoso Classe I. O recolhimento desses resíduos é realizado por um trator pequeno da própria fazenda no mínimo dois dias por semana.

Após o recolhimento dos resíduos, estes são direcionados para a Central Temporária de Resíduos Classe I e II, apresentada na Figura 20. A central foi implementada conforme a ABNT NBR 11.174 (Armazenamento de Resíduos Classe II) e ABNT NBR 12.235 (Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos) onde são apresentados padrões e normas construtivas para centrais de armazenamento de resíduos.

Os resíduos recicláveis classificados como Classe II devem ser armazenados em uma área apropriada, com piso que não precisa ser impermeabilizado, mas que tenha cobertura estrutural para proteger contra a ação dos ventos. A área também deve contar com um sistema de contenção para evitar vazamentos e possíveis contaminações do solo. Posteriormente, esses resíduos devem ser enviados para reciclagem, em conformidade com a NBR 11.174.

Figura 20: Central Temporária de resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor

Já os resíduos classificados como Classe I devem ser armazenados de forma a prevenir a contaminação do solo. É necessário que fiquem em uma área coberta, equipada com mecanismos de separação para conter eventuais vazamentos de materiais contaminantes. Além disso, esses resíduos devem ser mantidos separados dos resíduos de Classe II, em conformidade com a NBR 12.235. Tal fato, pode ser observado na Figura 21. Após o armazenamento, eles devem ser destinados a um tratamento adequado, preferencialmente o coprocessamento.

Figura 21: Resíduos Classe I



Fonte: Elaborado pelo autor

Na central, além dos resíduos serem separados por classe (I e II), são agrupados conforme suas características, como papel, plástico, entre outros. Os materiais recicláveis são prensados e armazenados até atingirem um determinado volume. Quando esse nível é alcançado, empresas terceirizadas, responsáveis pela coleta e destinação dos resíduos, retiram o material e efetuam o pagamento conforme o peso.

As empresas coletoras são homologadas e atendem aos requisitos necessários para a retirada, transporte e destinação final adequada dos resíduos. Após a destinação final, é emitido um certificado comprovando o correto descarte. Esse processo faz parte do sistema integrado de gestão ambiental implementado na fazenda, conforme os padrões da ISO 14001. Na figura 22, é exibido um panorama geral dos resíduos gerados na fazenda e suas destinações.

Figura 22: Resíduos gerados na fazenda e destinações

	Tipo do resíduo	Destinação
Resíduos Classe II	- Papel / papelão	Reciclagem
	- Sucatas não ferrosos (fios e cabos)	Aterro classe II
	- Plásticos diversos sem contaminação	Reciclagem
	- Metais ferrosos (aço, alumínio, ferro) livres de contaminação	Reciclagem
	- Papel carbono, fita adesiva, clips, canetas, embalagens aluminizadas	Aterro classe II
	- Vidro não contaminado com óleo, combustíveis, tinta ou solvente	Reciclagem
	- Madeira sem tratamento ou contaminada	Forno/caldeira
	- Esponjas inutilizadas, esponjas de aço usadas	Aterro classe II
	- Sobras de alimentos, cascas de frutas, cascas de legumes, sobras de vegetais	Aterro classe II
	- Grafite	Aterro classe II
	- Óleo comestível usado	Reciclagem (sabão)
	- Baners, cartazes	Aterro classe II
	- Marmidas inutilizadas sem contaminação orgânica	Reciclagem
	- Marmidas sujas e/ou com sobra de alimentos	Aterro classe II
	- Papel higiênico/toalha/fraldas descartáveis/resíduos comuns	Aterro classe II
	- Cinza dos fornos	Aterro classe II
	- Filtros sujos sem contaminação de óleo ou outro contaminante não perigoso	Aterro classe II
	- EPI usado não contaminado, sem contaminação de óleo, tinta e/ou solvente	Aterro classe II
	- Borracha/mangueiras não contaminadas	Aterro classe II
	Resíduos Classe I	- EPI usado contaminados com óleo, tinta ou solvente
- Plásticos e papéis contaminados com óleo, tinta ou solvente		Coprocessamento/aterro classe I
- Serragem contaminada com óleo		Coprocessamento/aterro classe I
- Borrachas e mangueiras contaminadas		Coprocessamento/aterro classe I
- Filtros contaminados		Coprocessamento/aterro classe I
- Panos e estopas contaminadas		Coprocessamento/aterro classe I
- Solvente sujo		Recuperação
- Pincel, borra de tinta, latas de tinta e solvente contaminadas		Coprocessamento/aterro classe I
- Sucata metálica contaminada com óleo ou combustíveis		Coprocessamento/aterro classe I
- Restos de eletrodos de Cromo		Reciclagem
- Cavaco de ferro contaminado		Coprocessamento/aterro classe I
- Lixas contaminadas		Aterro classe I
- Disco de corte contaminados		Coprocessamento/aterro classe I
- Pilhas e baterias		Reciclagem/aterro classe I
- Óleo comestível usado		Reciclagem (sabão) ou vendido
- Óleo lubrificante usado		Rerefino
- Lâmpadas fluorescentes/sódio	Descontaminação	
- Lodo de caixa separadora água e óleo	Coprocessamento/aterro classe I	
- Lodo de estação de tratamento de efluentes	Disposição em solo/ aterro classe I	
Resíduos Especiais	- Pneus	Reciclagem
	- Defensivos vencidos	Envio ao fornecedor
	- Embalagens de defensivos - embalagens	Reciclagem (INPEV)
	- Cartuchos de tinta de impressoras	Recarga/aterro classe I
	- Fita de impressora matricial	Aterro classe II
	- Embalagens não laváveis de defensivos	Reciclagem (INPEV)
	- Tijolos, blocos, telhas sem amianto, placas de revestimento	Reciclagem/reaproveitamento
	- Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras	Reciclagem/reaproveitamento
	- Gesso cartonado, isopor em alguns locais	Aterro Classe I
	- Tintas, solventes, óleos, pincéis contaminados	Aterro classe I/Reciclagem
	- Embalagens contaminadas com inflamáveis,	Aterro classe I/Reciclagem
- Lâmpadas fluorescentes	Aterro classe I/Reciclagem	
- Material eletrônico	Reciclagem	

Fonte: Elaborado pelo autor

A fazenda possui apenas um central de disposição de resíduos, chamada de Central de Resíduos Orgânicos, cuja função é o descarte dos resíduos orgânicos oriundos da sede e refeitório, e eventuais perdas de grãos e no algodão, cujo disposição final não agride o meio

ambiente. Já as demais destinações como os aterros classe I e II, são de responsabilidade das terceirizadas. O coprocessamento é o processo de trituração desses resíduos e utilização como fonte de energia para fornos de cimento.

Os resíduos Classe I são retirados por uma empresa especializada localizada na cidade de Goiânia, enquanto os resíduos recicláveis são retirados por uma empresa localizada no estado do Piauí. O rerrefino é realizado pela Lwart Soluções Ambientais, localizada em São Paulo, que é líder nacional e referência mundial na produção de óleo básico a partir do óleo potencialmente prejudicial ao meio ambiente.

Com relação ao recurso hídrico, a fazenda utiliza água subterrânea proveniente de poços artesianos. O uso da água pode ser observado no lava jato da fazenda, responsável pela limpeza de carros, caminhões e algumas máquinas agrícolas. A água residual desse processo é direcionada para uma caixa de separação de água e óleo, onde o óleo é removido e encaminhado para rerrefino, e a água resultante é infiltrada no solo.

Além desse lava-jato, há outro destinado exclusivamente à limpeza de máquinas agrícolas que contêm resíduos de defensivos. A água utilizada passa por um sistema de descontaminação com ozonizador e, em seguida, é armazenada em uma piscina impermeável, onde ocorre o processo de evaporação. A Figura 23 ilustra a piscina de evaporação.

Figura 23: Piscina de evaporação



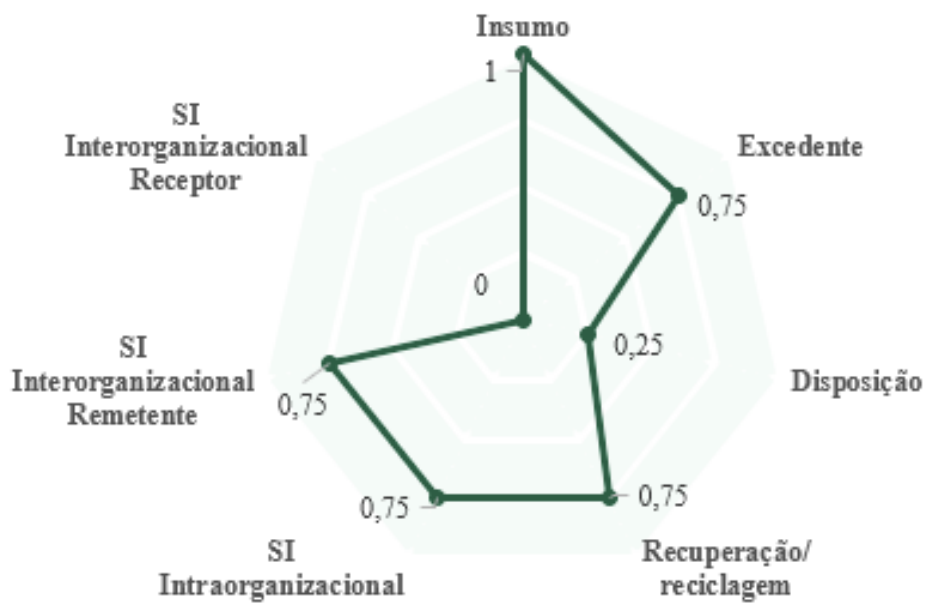
Fonte: Elaborado pelo autor

Todo o esgoto da fazenda é direcionado para a Estação de Tratamento de Esgoto, onde o efluente é tratado e, em seguida, enviado para o sumidouro. Nesse processo, não há reutilização da água, sendo realizado apenas o descarte adequado.

4.5 Maturidade, Barreiras e Impulsionadores identificados

O nível de maturidade é determinado pela média das respostas obtidas nos sete campos avaliados pelo questionário de avaliação de maturidade. Os resultados por área estão ilustrados no gráfico de maturidade apresentado na Figura 24. Valores de maturidade próximos a 1 indicam um alto nível de maturidade da empresa, evidenciando maior desenvolvimento e engajamento em trocas simbióticas. Por outro lado, valores próximos a 0 revelam a ausência de práticas de simbiose, bem como a falta de monitoramento de entradas, insumos e excedentes.

Figura 24: Nível de Maturidade




















Fonte: Elaborado pelo autor

A maturidade da empresa foi avaliada em 0,60, indicando que ela já monitora seus fluxos de materiais, insumos e resíduos de forma estruturada. Além disso, a empresa adota práticas de valorização de resíduos, encaminhando-os para valorização externa, conforme descrito nas seções anteriores. A análise destaca áreas fortes, como o monitoramento de insumos e o encaminhamento para reciclagem, enquanto aponta oportunidades de melhoria, especialmente no manejo do descarte e na implementação de Simbiose Industrial como receptora de resíduos. A adoção de práticas mais sistemáticas nessas áreas de menor maturidade pode contribuir para a transição da fazenda para um modelo mais sustentável e alinhado aos princípios da Simbiose Industrial.

No caso da área de SI receptora, não há perspectivas concretas de parcerias futuras. Contudo, essa limitação não impacta diretamente o desempenho da empresa, considerando suas características específicas e localização. A área de SI receptora apresenta maior complexidade, pois sua viabilidade não depende exclusivamente da empresa, mas também de fatores externos, o que pode dificultar ou até inviabilizar esse processo.

A classificação de maturidade representou a etapa final do Módulo B, conforme descrito na metodologia. Com base nos resultados obtidos até o momento, deu-se início ao Módulo C: Potencial de Implementação, que começa com a aplicação da análise SWOT para identificar os fatores internos e externos que afetam a fazenda, com o objetivo de compreender as barreiras e os impulsionadores relacionados ao potencial de implementação da simbiose industrial. Essa abordagem avalia as forças e fraquezas (fatores internos), bem como as oportunidades e ameaças (fatores externos) que podem influenciar o desempenho e as estratégias futuras da fazenda. Os resultados dessa análise estão ilustrados na Figura 25, que sintetiza os principais aspectos identificados.

Figura 25: Barreiras e Impulsionadores identificados

	BARREIRAS	IMPULSIONADORES
FATORES INTERNOS	 <ul style="list-style-type: none"> - Falta de confiança - Medo da dependência 	 <ul style="list-style-type: none"> - Conhecimento e disposição para implementar a Economia Circular - Visualiza oportunidades de sinergias - Cultura da empresa - Transparência  <ul style="list-style-type: none"> - Equipe especializada  <ul style="list-style-type: none"> - Possui recursos financeiros necessários - Novas possibilidades de insumos - Redução de custos  <ul style="list-style-type: none"> - Certificação ISO 14001 - Compliance  <ul style="list-style-type: none"> - Monitoramento e avaliação dos resíduos - Infraestrutura adequada
	 <ul style="list-style-type: none"> - Distância - Estradas de difícil acesso - Logística cara 	
FATORES EXTERNOS	 <ul style="list-style-type: none"> - Não há presença de redes de simbiose - Resistência cultural do setor - Falta de interesse das fazendas da região 	 <ul style="list-style-type: none"> - Reputação da empresa  <ul style="list-style-type: none"> - Melhorar imagem da empresa no mercado internacional - Ações na Bolsa de Valores  <ul style="list-style-type: none"> - Enquadramento regulatório  <ul style="list-style-type: none"> - Fácil acesso à tecnologia  <ul style="list-style-type: none"> - Consultoria para inovação em Sustentabilidade
	 <ul style="list-style-type: none"> - Ausência de fundos para de práticas simbióticas - Baixo custo para disposição de resíduos em aterro 	
	 <ul style="list-style-type: none"> - Posição geográfica não vantajosa 	
	 <ul style="list-style-type: none"> - Ausência de projetos de fomento - Fiscalização ineficiente 	
	 <ul style="list-style-type: none"> - Ausência de entidades governamentais e de pesquisa para orientação e desenvolvimento 	

Fonte: Elaborado pelo autor

No ambiente interno, a fazenda apresenta diversos impulsionadores, que representam pontos fortes capazes de potencializar as oportunidades de inserção em redes de sinergia. Por outro lado, no ambiente externo, predominam barreiras que podem se tornar possíveis ameaças ao estabelecimento de relações de troca. As barreiras internas são os pontos fracos e os impulsionadores externos são as oportunidades.

Internamente, a cultura organizacional da empresa se apresenta como um impulsionador significativo, especialmente no que diz respeito ao seu compromisso com a sustentabilidade e o respeito ao meio ambiente. O grande objetivo da empresa é avançar nessas áreas, com destaque para a sustentabilidade e a Economia Circular. Para isso, existem setores específicos

dedicados a essas temáticas, compostos por colaboradores altamente qualificados para lidar com as demandas desses campos.

A empresa dispõe de recursos financeiros e infraestrutura suficientes para implementar iniciativas de trocas simbióticas e valorização interna. Além disso, a adoção de práticas circulares pode resultar em uma redução dos custos operacionais a longo prazo, já que os resíduos seriam reutilizados, a eficiência no uso de recursos seria aprimorada e surgiriam oportunidades para gerar novos insumos para a empresa, como no caso do biofertilizante.

Outro fator relevante é o sistema de gestão ambiental ISO 14001, que possibilita o controle do volume de resíduos gerados, o monitoramento desses materiais e a gestão de suas destinações adequadas. Esse sistema, aliado à política de *compliance* da empresa, garante uma busca constante pelo atendimento à legislação vigente e pela implementação de soluções ambientalmente eficientes.

Ainda dentro da categoria de gerenciamento, a empresa possui amplo conhecimento sobre o setor e identifica oportunidades de colaboração, assim como potenciais parceiros que poderiam contribuir para novas fontes de insumos para a fazenda. Por outro lado, a falta de confiança representa uma barreira significativa, dificultando o início de parcerias. Esse desafio está relacionado à desconfiança quanto à entrega e à qualidade dos resíduos que serão transportados. Resíduos de baixa qualidade ou mal separados podem comprometer os processos internos e gerar retrabalho. Além disso, existe o receio de que a dependência de outras empresas para esse tipo de troca simbiótica possa resultar em descontinuidade, caso essas empresas decidam interromper a parceria.

A principal barreira logística está relacionada à localização da fazenda, distante da cidade e com acesso difícil, devido à estrada não asfaltada e em condições precárias. Isso eleva significativamente os custos de frete, tornando a logística onerosa e inviável, já que o valor obtido com os resíduos não cobre as despesas logísticas envolvidas. As sinergias já implementadas com o briquete, a fibrilha e os resíduos de soja e milho são direcionadas a empresas próximas, uma vez que o custo do transporte é um fator determinante para a viabilidade econômica da aquisição desses materiais.

No ambiente externo, os impulsionadores incluem o enquadramento regulatório favorável, que permite o reaproveitamento de resíduos sem restrições, além do fácil acesso às tecnologias de mercado, o que facilita a implementação de soluções inovadoras. A reputação consolidada da empresa também facilita a construção de relações comerciais e parcerias nessa área e gera uma necessidade de atender as exigências do mercado.

O grupo ao qual a fazenda pertence possui ações na Bolsa de Valores, o que o obriga a atender regulamentações e requisitos de *compliance*, além de demonstrar responsabilidade social e manter uma imagem pública positiva. Isso também facilita o acesso a financiamento e atrai investidores, uma vez que muitos fundos e investidores priorizam empresas que adotam práticas ambientais, sociais e de governança. Além disso, a adoção dessas práticas é essencial para atender às expectativas das partes interessadas e fortalecer o relacionamento com elas.

A empresa conta com a parceria de uma consultoria especializada em projetos de inovação e assessoria estratégica, iniciada em 2020, com o objetivo de implementar e dar continuidade aos projetos de Economia Circular. Essa parceria abrange o diagnóstico do contexto organizacional em relação ao gerenciamento de materiais e à gestão de matérias-primas, análise dos processos atuais de manejo de resíduos, índices de reciclabilidade e outros indicadores relevantes. Além disso, a consultoria auxilia na adequação legal das operações relacionadas à área de resíduos, garantindo conformidade e sustentabilidade nos processos.

Com relação as ameaças externas, uma limitação significativa é a resistência cultural, em que as práticas agrícolas ainda seguem um modelo mais agressivo e menos sustentável. Como resultado, a busca por soluções circulares não é uma prioridade nas fazendas locais, o que reflete na falta de interesse por alternativas mais sustentáveis, com muitas delas optando por utilizar aterros para a destinação de resíduos. As certificações das fazendas locais visam, em grande parte, apenas o licenciamento básico para operação. Além disso, a fiscalização na área é ineficiente, o que agrava o cenário.

O envio de resíduos para aterros impacta negativamente a implementação de práticas sustentáveis, pois é uma alternativa de baixo custo e alta simplicidade operacional. Essa prática frequentemente se torna a opção mais econômica no curto prazo, especialmente em regiões onde os custos de transporte são elevados e a infraestrutura para reaproveitamento ou reciclagem é limitada ou inexistente.

Além da localização geográfica desfavorável, a empresa enfrenta outro desafio significativo: a ausência de intermediários, como entidades governamentais e núcleos de pesquisa, que possam facilitar relações comerciais, promover a aproximação entre empresas, oferecer orientação estratégica e auxiliar no desenvolvimento de soluções para superar essas barreiras. Sob a perspectiva política, também há uma clara limitação de políticas públicas e incentivos, especialmente em áreas mais remotas, onde a falta de apoio governamental dificulta ainda mais a adoção de práticas sustentáveis e colaborativas.

4.6 Novo cenário

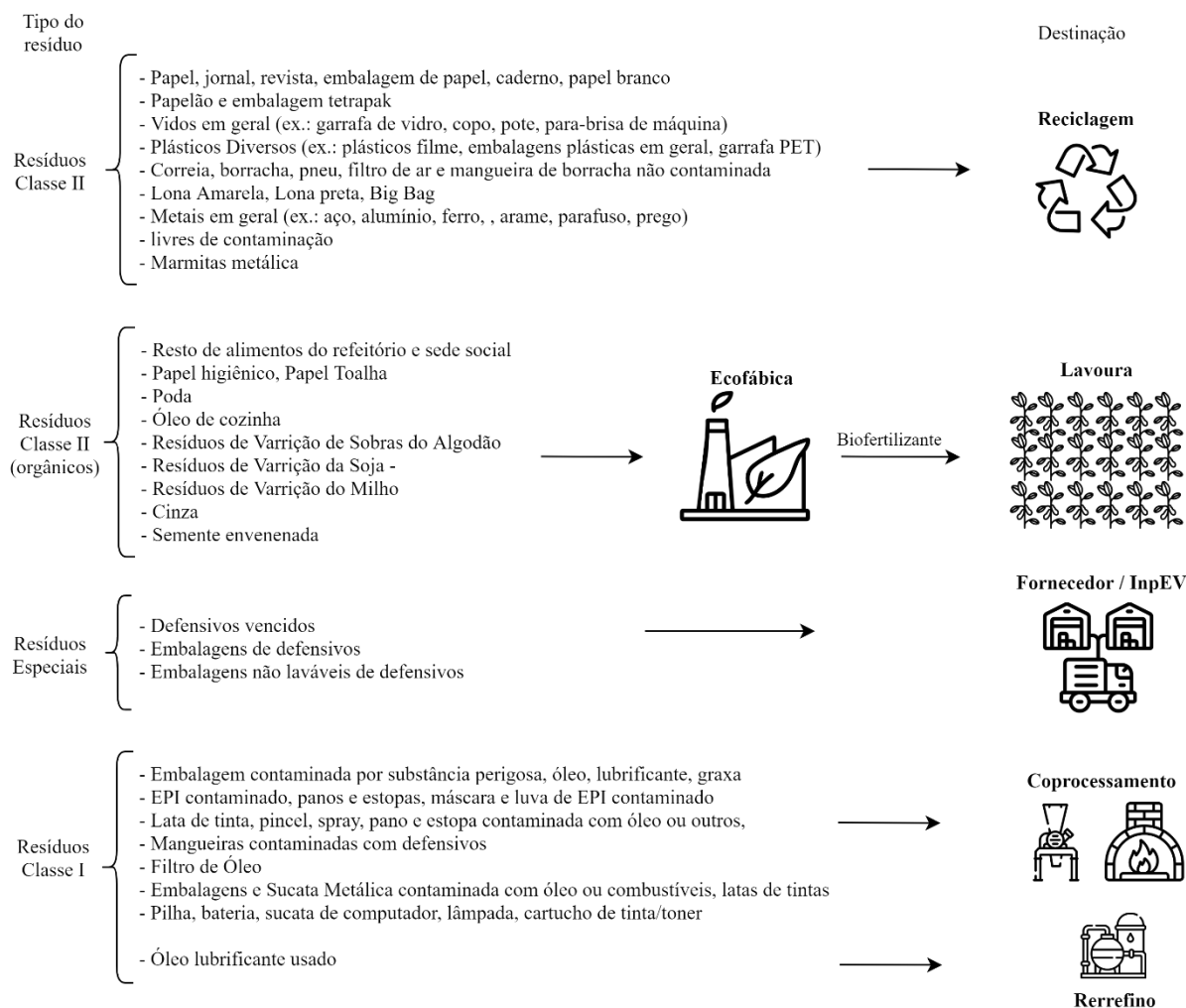
A empresa desenvolveu um projeto de Economia Circular em parceria com uma consultoria especializada, com o objetivo de implementar o conceito até 2026, sob o lema "zero resíduo". No momento, a empresa realiza apenas o descarte de resíduos orgânicos, que corresponde à primeira fase desse projeto, atualmente em estágio inicial de implementação. A análise dos novos cenários está alinhada com o planejamento estratégico da empresa. A Figura 26 ilustra esse cenário futuro, destacando as perspectivas para o avanço do projeto.

A empresa de consultoria responsável pelo projeto de Economia Circular já concluiu as etapas de identificação dos excedentes, incluindo sua classificação em resíduos Classe I, Classe II e resíduos especiais. Além disso, foram realizadas a busca por novas formas de valorização vantajosas para a empresa e a projeção de um novo cenário. Esse cenário foi desenvolvido levando em consideração as características dos resíduos e as especificidades operacionais da fazenda, alinhando sustentabilidade e viabilidade prática.

Com o objetivo de garantir uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos orgânicos gerados na fazenda, esses materiais serão enviados para a Ecofábrica, uma tecnologia sustentável e ecologicamente correta. Nessa unidade, os resíduos orgânicos biodegradáveis passam por um processo de conversão, realizado por microrganismos, que os transforma em um produto estável (composto), que pode ser utilizado como fertilizante orgânico.

Com base nesse novo cenário, o índice de reciclabilidade projetado pela consultoria, já validado em outra fazenda do grupo onde o projeto foi implementado, demonstrou um impacto positivo expressivo: a reciclabilidade aumentou de 29% para 99,8%. Resultados semelhantes são esperados com a implementação do projeto na unidade analisada neste estudo, evidenciando o significativo potencial de melhoria e a eficiência na gestão de resíduos.

Figura 26: Novo cenário de destinações de resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor

A utilização de aterros será completamente eliminada, de forma que nenhum resíduo será descartado em aterros pela fazenda ou por empresas terceirizadas. Em vez disso, os resíduos serão tratados de maneira mais sustentável: os resíduos Classe II serão destinados à reciclagem, enquanto os resíduos Classe I serão enviados para coprocessamento. Além disso, o óleo lubrificante continuará sendo encaminhado para rerrefino, processo que o transforma em óleo básico, permitindo seu recondição e retorno ao mercado com as mesmas características de suas aplicações originais.

Os defensivos vencidos serão devolvidos ao fornecedor, e as embalagens vazias de defensivos agrícolas serão enviadas ao Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (InpEV), que realiza a logística reversa, garantindo a destinação ambientalmente adequada de 100% dessas embalagens.

Os subprodutos e resíduos gerados na Unidade de Beneficiamento de Algodão (UBA) e na Unidade de Beneficiamento de Grãos (UBG) continuam integrando as sinergias já estabelecidas. Na UBA, os resíduos do beneficiamento são valorizados, resultando em briquetes, fibrilha e caroço, os quais são utilizados como insumos em novos processos interorganizacionais. De forma semelhante, a UBG destina os resíduos orgânicos gerados para valorização em processos realizados por outras fazendas e fábricas, promovendo a integração e o reaproveitamento sustentável dos materiais.

5. DISCUSSÃO

Um dos principais desafios identificados durante a pesquisa na fazenda é a falta de confiança para estabelecer laços simbióticos. Esse obstáculo é amplamente documentado na literatura, desde os trabalhos de Chertow (2000) até os estudos mais recentes de Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011), Mallawaarachchi et al. (2020), Bruel e Godina (2023), Hossain et al. (2024) e Chatterjee et al. (2024). Segundo Chatterjee et al., essa falta de confiança dificulta a cooperação necessária para adquirir conhecimento sobre como estruturar estrategicamente uma rede, frequentemente resultando no fracasso do envolvimento. No estudo de Faria, Caldeira-Pires e Barreto (2021), também são abordadas outras questões sociais críticas, como a necessidade de acordos bilaterais, o engajamento coletivo e a implementação de estratégias eficazes de comunicação e compartilhamento de informações.

Além da necessidade que os atores colaborem, Chertow (2000) destacou que as possibilidades sinérgicas são proporcionadas pela proximidade geográfica, sendo fundamental para o sucesso da simbiose industrial. Esse fato é evidente no estudo da unidade de análise, onde o briquete de algodão e os resíduos gerados durante o beneficiamento de grãos são destinados à valorização por empresas e fazendas próximas à região. Essa prática se deve ao alto custo logístico e à posição geográfica desfavorável para o transporte a longas distâncias.

Essa visão é reforçada por Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2019), que associam a proximidade geográfica à redução dos custos de transporte de resíduos e ao fortalecimento da confiança e transparência entre as empresas. Segundo os resultados de Anane et al. (2023), o meio de transporte é um dos principais fatores para viabilizar a troca de materiais entre plantas, embora frequentemente tenha sido negligenciado em estudos anteriores. Assim, o transporte desempenha um papel crítico tanto no estabelecimento quanto na manutenção de uma rede de simbiose industrial.

Contrapondo os resultados de Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2019), Ji et al. (2020), Fraccascia et al., 2021, Henriques, Castro e Azevedo (2021), Sellitto et al., 2021, Boom-Cárcamo e Peñabaena-Niebles (2022) e Anane et al. (2023), os resultados de Corsini, Bernardi e Frey (2024) apontam que os fatores logísticos não são considerados relevantes, sendo as barreiras críticas relacionadas às restrições regulatórias, os elevados custos de investimento e às dificuldades em obter financiamento.

Contribuindo para o aspecto logístico, Desrochers e Szurmak (2017) destacam que a simbiose industrial não deve se restringir a contextos locais, pois o comércio de materiais recicláveis, como fibras têxteis residuais, vidro, papel, metais ferrosos e não ferrosos, produtos

químicos, couro e outras substâncias, é viabilizado por intermediários que operam em escalas geográficas mais amplas, sendo igualmente relevante. Essa dinâmica de alcance geográfico maior também pode ser observada na fazenda estudada, onde resíduos de Classes I e II são coletados e reprocessados por empresas especializadas.

O mesmo ocorre com os subprodutos do algodão, como a fibrilha e o caroço, que são enviados para outros estados. No estudo de Desrochers e Szurmak (2017), foi analisada a indústria de sementes de algodão, que transformou esse material, inicialmente considerado um resíduo de descarte problemático, em produtos de alto valor, como óleo comestível, ração animal e fertilizantes. Esse caso ilustra como barreiras técnicas, sociais e econômicas podem ser superadas por meio de inovação e do acesso a mercados distantes.

Nesse contexto, observa-se que a proximidade geográfica atua como um facilitador para o envolvimento, porém, as trocas não estão restritas a essa proximidade. Essa conclusão é evidenciada no estudo de Segundo Chen et al. (2024), que analisa a viabilidade de implementar a Simbiose Industrial em longas distâncias. O estudo destaca, contudo, que sua eficácia tende a diminuir devido a diversos fatores, como os custos logísticos elevados, a maior complexidade na coordenação entre as partes envolvidas e os impactos associados à distância.

Apesar desse desafio, Harfeldt-Berg e Harfeldt-Berg (2023) destacam que a identificação de novas oportunidades de negócios e o aumento da eficiência no uso de recursos são os principais motivadores para a participação na Simbiose Industrial. Esses fatores podem, assim, ajudar a superar os obstáculos impostos pelas distâncias e outros desafios logísticos.

A busca pela eliminação de resíduos e aumento do índice de reaproveitamento e valorização, faz parte do planejamento da fazenda. Partindo disso, Donner et al. (2021), afirma que no setor agrícola tecnologias de conversão e investimentos conjuntos em Pesquisa e Desenvolvimento são elementos importantes para o sucesso da simbiose industrial. Petit et al. (2022) relatam que empresas desse setor estão transformando resíduos orgânicos em energia e produtos para alimentação animal, agregando valor a materiais anteriormente descartados. Dalto et al. (2023) reforçam que a redução de resíduos agrícolas e sua conversão em subprodutos promovem novas oportunidades no agronegócio. Em uma perspectiva mais ampla, Dong, Liu e Zhao (2024) sugerem que políticas de imposto ambiental podem influenciar positivamente a produção de subprodutos ao mitigar danos causados pelo desperdício.

Assim como observado na Figura 25, a cultura da empresa, a conscientização, disposição para implementar práticas de Economia circular e a reputação são pontos fortes importantes. Scandurra et al. (2023) destacam em sua pesquisa que o setor agrícola já demonstra

uma significativa conscientização em relação à Economia Circular. A circularidade não é um conceito novo para o setor, pois, há muito tempo, práticas como o aproveitamento de resíduos animais para a produção de fertilizantes orgânicos exemplificam o fechamento do ciclo de recursos na agricultura.

Corroborando com esse resultado, Sant'ana et al. (2024) destacam que a transformação de resíduos agroindustriais em produtos de valor agregado tem sido amplamente explorada ao longo dos anos, embora ainda esteja majoritariamente restrita às etapas de pesquisa e experimentação. Esses resíduos possuem grande potencial para serem convertidos em insumos que aprimoram as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tornando-o mais adequado para o plantio.

Resultado semelhante foi identificado por Mandal et al. (2024), que destacam a crescente adoção de resíduos alimentares por empresas agrícolas para a produção de fertilizantes de base biológica. Esses fertilizantes não apenas melhoram a fertilidade do solo, mas também contribuem para a redução dos impactos negativos associados ao uso de fertilizantes sintéticos. Resumindo esse ponto, nos resultados de Harfeldt-Berg e Harfeldt-Berg (2023), os dois principais impulsionadores identificados, são a busca por novas oportunidades de negócios e o objetivo de alcançar maior eficiência no uso de energia e recursos. Assim, a possibilidade de novos insumos impulsiona a busca por soluções inovadoras e parcerias estratégicas entre as empresas.

Já para Aquilas (2021), embora haja uma conscientização e engajamento crescentes entre as empresas agrícolas, o nível geral de maturidade para a implementação de práticas circulares varia significativamente em todo o setor. Já os resultados de Haque, Fan e Lee (2023) destacam que o setor agrícola muitas vezes resiste à adoção de práticas circulares devido aos riscos econômicos percebidos. Além disso, Sporchia e Caro (2023) complementam afirmando que a resistência do setor agrícola à implementação de práticas circulares é impulsionada pela falta de conscientização e os riscos percebidos associados as mudanças substanciais nas práticas agrícolas estabelecidas.

Uma maneira de lidar com a falta de conscientização e preocupação em relação aos riscos envolvidos foi identificada nas pesquisas de Neves et al. (2019), Ji et al. (2020) e Harfeldt-Berg, Broberg e Ericsson (2022). Esses estudos apontam que as exigências regulatórias e a necessidade de conformidade são os principais impulsionadores para a participação das empresas em iniciativas de Simbiose Industrial. De maneira mais ampla, Boom-Cárcamo e Peñabaena-Niebles (2022), relata que em países emergentes, barreiras

financeiras, desconhecimento do conceito de comércio de resíduos e falta de infraestrutura são desafios significativos, enquanto o controle de custos, a adoção de tecnologias e a inovação surgem como impulsionadores.

A simbiose industrial também depende de papéis bem definidos entre governos, indústrias e facilitadores. Fraccascia et al. (2021) apontam que as indústrias buscam parceiros e insumos substitutos, enquanto governos fornecem regulamentações e incentivos econômicos. Facilitadores oferecem apoio técnico, político e econômico, gerenciando infraestruturas compartilhadas e monitorando instalações.

Os resultados de Moreira, Butturi e Sellitto (2023), conduzidos no Nordeste brasileiro, indicam que os geradores de resíduos são motivados a participar de uma nova rede principalmente pela conformidade com a legislação local e pela redução de custos de descarte, atualmente realizado parcialmente em aterros sanitários. Já os receptores são incentivados a integrar a rede pela oportunidade de comercializar novos produtos, como biofertilizantes, fabricados com matérias-primas de baixo custo.

De maneira similar, Freitas e Magrini (2017) ressaltam o papel da simbiose industrial na redução de resíduos em aterros e na promoção de iniciativas sustentáveis alinhadas às exigências políticas e regulatórias. A eliminação do aterro na Unidade de Análise (resíduos orgânicos) e aterros utilizados por terceiros, está alinhado exatamente ao cumprimento as normas de certificação e aos novos padrões internacionais.

A superação das ameaças identificadas neste estudo é um tema amplamente abordado na literatura. Neves et al. (2019), Patala, Salmi e Bocken, (2020), Pradhita et al. (2020), Branca et. (2021), Lybæk, Christensen e Thomsen, (2021), Södergren e Palm (2021), Faria, Caldeira-Pires e Barreto (2021), Fracascia et al. (2021), Pasqualotto et al., (2023), Haque, Fan e Lee (2023) e Corsini, Bernardi e Frey (2024) destacam o papel essencial dos governos em estabelecer regulamentações ambientais, oferecer incentivos econômicos, criar instituições que favoreçam a adoção da Simbiose Industrial e promover o uso de produtos derivados de resíduos por meio de políticas específicas. Além disso, os facilitadores, ou intermediários, atuam como pilares ao fornecer orientação sobre o tratamento de resíduos, apoio político, análise de viabilidade técnica e econômica, e, em alguns casos, desempenhando o papel de organizações governamentais para viabilizar infraestruturas e monitorar instalações compartilhadas. O estudo de Hilmi et al. (2024) complementa, destacando a necessidade de treinamento e abordagens locais para apoiar estratégias de adaptação.

A cooperação entre as partes interessadas é um tema já explorado na pesquisa de Schei, Hansen e Selart (2012), que apontam que as empresas agrícolas frequentemente se envolvem em operações conjuntas para alcançar economias de escala e escopo. No entanto, a colaboração entre elas pode apresentar desafios, com níveis de sucesso variados. Segundo Aquilas (2021), essas iniciativas, além de favorecerem a sustentabilidade, podem aumentar significativamente a participação das empresas no mercado.

Pannila et al. (2022) destaca que a ausência de uma visão compartilhada de longo prazo no setor agroindustrial representa um desafio significativo para a adoção de práticas circulares. Esse fator contribui para a falta de interesse entre as partes envolvidas, uma vez que há uma tendência de priorizar investimentos que gerem economias imediatas em detrimento de estratégias sustentáveis e de maior prazo. Complementando essa análise, Martínez-Moreno et al. (2024) aponta que essa dificuldade é ainda mais agravada pela ausência de incentivos financeiros, limitando a viabilidade e a atratividade das práticas circulares no setor.

Assim, após a identificação das barreiras à implementação da simbiose industrial, torna-se essencial buscar estratégias que possibilitem a superação desses obstáculos e o desenvolvimento de sinergias entre as partes envolvidas. Nesse sentido, o Quadro 2 apresenta um conjunto de facilitadores, cuja finalidade é apoiar e facilitar a adoção da simbiose industrial, propondo soluções práticas e eficazes para superar as dificuldades associadas.

Quadro 2: Facilitadores propostos






























Barreira	Facilitador proposto
Falta de confiança Resistência cultural Falta de interesse	<ul style="list-style-type: none"> • Criar plataforma digital ou banco de dados compartilhado que conecte empresas para trocas de resíduos e subprodutos; • Realizar workshops e eventos locais para promover parcerias entre empresas; • Disponibilizar capacitações, consultorias e manuais práticos sobre simbiose industrial e tecnologias viáveis; • Desenvolver campanhas de conscientização que mostrem os benefícios econômicos, ambientais e sociais da simbiose industrial; • Designar "embaixadores" dentro das empresas para liderar as mudanças; • Desenvolver diretrizes locais com apoio de associações de empresas; • Elaborar instrumentos que ajudam a padronizar e formalizar a atuação em iniciativas de sinergias; • Identificar poupança de recursos (principalmente água, energia, matéria-prima) e possibilidades de ganhos com novos produtos.
Ausência de fundos para práticas de SI	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar programas de incentivo à inovação, com financiamento público ou privado; • Criar políticas de incentivo fiscal ou redução de taxas para empresas participantes de simbiose industrial.
Ausência de redes de SI	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar projetos piloto em pequena escala antes de ampliar.
Estradas em péssimas condições Logística cara	<ul style="list-style-type: none"> • Parceria pública e privada para melhorar as condições da estrada; • Planejar rotas logísticas otimizadas com ajuda de softwares de gestão de transporte.
Utilização de aterros Fiscalização ineficiente	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer a fiscalização ambiental e implementar incentivos e desincentivos que desestimulem o uso de aterros sanitários
Ausência de intermediários	<ul style="list-style-type: none"> • Promover a criação de um sistema integrado que conecte empresas, governo, universidades e empresas de consultoria para facilitar a implementação de práticas de simbiose industrial

Fonte: Elaborado pelo autor

O quadro de facilitadores visa ser uma ferramenta prática e eficaz para a superação das barreiras identificadas. Ao vincular cada facilitador a uma barreira específica, torna-se possível estruturar e viabilizar a implementação da simbiose industrial, promovendo a colaboração entre as empresas de forma mais organizada. Com base nisso, a adoção dos facilitadores propostos criará um ambiente propício para o fortalecimento de parcerias, o desenvolvimento de confiança mútua e o aprimoramento da imagem "verde" do setor, tanto no cenário nacional quanto internacional. Essa transformação não só ampliará a competitividade das empresas, mas também contribuirá para a consolidação de um modelo mais sustentável e alinhado com as demandas globais por práticas ambientais responsáveis.

Com a consolidação de um ambiente propício para práticas de envolvimento simbiótico, surge a necessidade de explorar novas formas de valorização dos excedentes gerados. Nesse contexto, propõe-se um framework que integra diferentes possibilidades de aproveitamento de resíduos e subprodutos observados na fazenda. A Figura 27 expõe esse *framework*.

Figura 27: Novas formas de valorização de subprodutos e resíduos

Subproduto/resíduo	Destinação atual	Novas possibilidades
Briquete de algodão	Alimentação animal 	Biomassa  Construção civil  Compostagem  Biocombustível 
Caroço do algodão	Óleo de algodão  Torta de algodão  Linter 	Bio-óleo  Biochar  Biodiesel  Bioplástico  Cosméticos 
Fibrilha	Indústria têxtil 	Biocompósitos 
Resíduos de soja Resíduos de milho	Alimentação animal 	Biomassa  Biofertilizante  Biocombustível 
Resíduo orgânico	Descarte 	Biofertilizante  Biogás  Biomassa 
Cinzas	Descarte 	Biofertilizante  Construção civil  Fundição 
Água residual (ETE)	Descarte 	Irrigação 

Fonte: Elaborado pelo autor

As novas formas de valorização propostas seguiram as fases descritas no Quadro 1. No entanto, as fases 3 e 4 não foram executadas devido à dificuldade de acesso aos custos associados tanto às destinações atuais quanto à implementação das alternativas propostas. Dessa forma, não foi possível realizar a avaliação das questões econômicas relacionadas às alternativas de valorização possíveis.

Por fim, é fundamental salientar a importância da integração de todas as partes interessadas na promoção de práticas sustentáveis, tanto no desenvolvimento dos facilitadores quanto na identificação de novas formas de valorização de resíduos. A colaboração entre empresas, governos, universidade, consultorias é essencial para criar um ambiente favorável à inovação e à adoção de práticas de Simbiose Industrial. Além disso, essa integração permite

ampliar o escopo de trocas, potencializando a circulação de materiais e subprodutos entre diferentes empresas e setores, contribuindo para o fortalecimento da simbiose industrial e para o atendimento às crescentes exigências de um agronegócio ambientalmente responsável.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor agrícola ocupa uma posição central diante dos desafios relacionados ao crescimento populacional, segurança alimentar, mudanças climáticas e escassez de recursos, todos fundamentais para a sustentabilidade. Dessa forma, mecanismos como a Simbiose Industrial representam um caminho importante rumo à Economia Circular.

O objetivo deste estudo foi avaliar o potencial de implementação da Simbiose Industrial em fazendas, com foco na identificação dos resíduos gerados, suas destinações e os principais fatores que influenciam essa implementação, como barreiras e impulsionadores. Para isso, foi realizada uma pesquisa exploratória e descritiva, utilizando como método um estudo de caso em uma fazenda dedicada à produção agrícola, localizada na região da Serra do Penitente, no sul do Maranhão.

Os resultados indicam que há um significativo potencial para a implementação da Simbiose Industrial na fazenda, evidenciado pela geração de resíduos durante suas atividades. Alguns desses resíduos são valorizados internamente por meio da Simbiose Industrial Intraorganizacional, como é o caso dos resíduos do algodão que se tornam fibrilha e briquete, que são posteriormente enviados para outras empresas, caracterizando a Simbiose Industrial Interorganizacional remetente.

Além disso, resíduos de Classe I e II, o caroço de algodão, os resíduos de soja e milho, também integram essa prática, sendo valorizados por outros atores envolvidos nessa relação simbiótica. Já os resíduos orgânicos gerados na produção agrícola permanecem na lavoura, desempenhando um papel essencial na proteção do solo e na melhoria do nível de matéria orgânica.

Os pontos fortes para a implementação da Simbiose Industrial na fazenda incluem a disposição da empresa em adotar práticas de Economia Circular, a identificação de novas oportunidades, a presença de uma equipe especializada e sua boa reputação no mercado. A fazenda também conta com um sistema de gestão ambiental certificado pela ISO 14001 e segue uma política de *compliance*, garantindo o cumprimento das legislações e regulamentos.

Por outro lado, os pontos fracos estão associados à falta de confiança com potenciais parceiros, tanto na manutenção das relações quanto no cumprimento de prazos e na qualidade dos resíduos. Questões logísticas também representam um desafio significativo, resultando em gastos excessivos e limitando as trocas quando os resíduos possuem baixo valor agregado.

O estudo aponta que a limitação geográfica influencia negativamente a formação de novos vínculos. No entanto, algumas trocas ocorrem em mercados distantes, como no caso dos

materiais recicláveis e do caroço de algodão. Este último, anteriormente visto como um problema para o setor, transformou-se em um insumo valioso graças à inovação e ao acesso a mercados distantes.

No ambiente externo, as oportunidades incluem a melhoria da imagem verde da organização tanto no cenário nacional quanto internacional, além do fácil acesso a tecnologias inovadoras. A existência de um enquadramento regulatório favorável, sem restrições que dificultem ou impeçam a valorização de resíduos, também representa uma vantagem estratégica. Adicionalmente, a adoção de práticas sustentáveis é essencial para atrair novos investidores, especialmente considerando que a empresa possui ações na Bolsa de Valores, o que a torna mais atraente para investidores conscientes e alinhados com princípios de sustentabilidade.

Embora haja interesse da fazenda em adotar práticas mais sustentáveis, observa-se uma resistência cultural no setor, o que resulta em uma falta de disposição para adotar práticas sustentáveis de forma mais ampla. A prioridade ainda é o retorno rápido de investimento a curto prazo, o que dificulta a transição para modelos de longo prazo. Esse cenário é ainda mais desafiador pela ausência de intermediários que possam apoiar o planejamento, controle e manutenção das relações simbióticas, além da falta de legislações específicas e fundos de incentivo voltados para a Simbiose Industrial, que poderiam facilitar a implementação dessas práticas.

Apesar desse cenário desafiador, a fazenda conseguiu identificar uma empresa de consultoria especializada, que desenvolveu um projeto de Economia Circular, abrangendo desde o diagnóstico até a implementação e a manutenção das práticas. Isso demonstra o comprometimento da fazenda em buscar e investir em um novo modelo sustentável.

A partir dessa parceria, surgiu um novo cenário que destaca a implementação de uma Ecofábrica, uma solução simples e eficaz que elimina o descarte de resíduos orgânicos, transformando-os em insumos valiosos para a lavoura. O biofertilizante gerado por esse processo contribui para a reciclagem de macro e micronutrientes, promovendo a agricultura regenerativa, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e diminuindo os custos com fertilizantes. Além disso, a fazenda planeja eliminar a utilização de aterros, tanto próprios quanto de empresas terceirizadas homologadas, reforçando ainda mais seu compromisso com práticas sustentáveis e a redução do impacto ambiental.

Outro resultado relevante é a predominância de impulsionadores internos em relação aos externos, destacando a determinação e as ações da empresa em prol da Economia Circular.

Isso é evidenciado pela maturidade observada na pesquisa, que indica um nível avançado nesse aspecto. Essa dinâmica reflete que, apesar da imagem frequentemente negativa do setor agrícola em questões ambientais, empresas com boa reputação no mercado demonstram muita consciência sobre seus impactos e implementam medidas para mitigá-los, mesmo sem o suporte de assistência externa.

O agronegócio, de modo geral, ainda enfrenta críticas quanto às suas práticas ambientais, muitas vezes sendo associado a impactos negativos no uso dos recursos naturais. De fato, existem empresas que priorizam o lucro imediato em detrimento da sustentabilidade. No entanto, há também organizações que investem em práticas mais responsáveis, adotando princípios da economia circular. A empresa estudada neste trabalho exemplifica esse movimento, destacando-se como referência na área ao desenvolver iniciativas que aliam eficiência produtiva e responsabilidade ambiental, demonstrando que é possível conciliar crescimento econômico com sustentabilidade.

Esta pesquisa concentrou-se em um estudo de caso, avaliando o potencial da Simbiose Industrial no nível micro, uma importante lacuna na literatura. Para futuras pesquisas, sugere-se investigar os custos associados às formas de destinação atuais e os custos envolvidos na adoção de novas estratégias de valorização, assim como os benefícios econômicos e ambientais de longo prazo dessa prática, de modo a reforçar sua adoção. Também é recomendável explorar estratégias para superar as barreiras identificadas, como a falta de intermediários e de incentivos externos, com ênfase no papel das políticas públicas e das iniciativas privadas. Além disso, propõe-se expandir o escopo da análise, avançando do nível micro para o nível macro, partindo de um conhecimento específico para uma visão mais abrangente e sistêmica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10.004: Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11.174: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12.235: Armazenamento de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1992.

ACHILLAS, Charisios. "Agricultural chains sustainability within the concept of circular economy. **Bio-Economy and Agri-production**, pp. 31-41, 2021.

ALBARRACIN, Lorena Torres et al. The Bioenergetic Potential from Coffee Processing Residues: Towards an Industrial Symbiosis. **Resources**, v. 13, n. 2, p. 21, 2024.

ALFARO, Jose; MILLER, Shelie. Applying industrial symbiosis to smallholder farms: Modeling a case study in Liberia, West Africa. **Journal of industrial ecology**, v. 18, n. 1, p. 145-154, 2014.

ARTACHO-RAMÍREZ, Miguel A. et al. Quick wins workshop and companies profiling to analyze industrial symbiosis potential. Valenciaport's cluster as case study. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7495, 2020.

AZEVEDO, João et al. Industrial symbiosis implementation potential—An applied assessment tool for companies. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1420, 2021.

BARONA, J.; BALLINI, F.; CANEPA, M. Circular developments of maritime industrial ports in Europe: a semi-systematic review of the current situation. **Journal of Shipping and Trade**, v. 8, n. 1, p. 25, 2023.

BARROS, Murillo Vetroni et al. Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: From waste to energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 131, p. 109958, 2020.

BEHZAD, Masoud et al. Developing an assessment model for uncovering potential synergies of regional industrial symbiosis: A case study of Valparaiso region, Chile. **Journal of Cleaner Production**, v. 444, p. 141245, 2024.

BEJENARU, Ludovic Everard et al. Innovative Strategies for Upcycling Agricultural Residues and Their Various Pharmaceutical Applications. **Plants**, v. 13, n. 15, p. 2133, 2024.

BIJON, Nicolas et al. Simulating 'step zero'. Empirical lessons for engaging stakeholder dialogue on collective management of organic waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 425, p. 139029, 2023.

BIJON, Nicolas et al. Towards a sustainable bioeconomy through industrial symbiosis: Current situation and perspectives. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1605, 2022.

BOOM-CÁRCAMO, Efrain; PEÑABAENA-NIEBLES, Rita. Analysis of the Development of Industrial Symbiosis in Emerging and Frontier Market Countries: Barriers and Drivers. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 4223, 2022.

BOONS, Frank; SPEKKINK, Wouter; MOUZAKITIS, Yannis. The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review. **Journal of cleaner production**, v. 19, n. 9-10, p. 905-911, 2011.

BRANCA, Teresa Annunziata et al. Industrial symbiosis and energy efficiency in European process Industries: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 16, p. 9159, 2021.

BRUEL, Aurélien; GODINA, Radu. A smart contract architecture framework for successful industrial symbiosis applications using blockchain technology. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 5884, 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n.º 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001.

BUDA, Gergely; RICZ, Judit. Industrial symbiosis and industrial policy for sustainable development in Uganda. **Review of Evolutionary Political Economy**, v. 4, n. 1, p. 165-189, 2023.

CASTELLET-VICIANO, Lledó et al. Industrial symbiosis: a mechanism to guarantee the implementation of circular economy practices. **Sustainability**, v. 14, n. 23, p. 15872, 2022.

CHATTERJEE, Abheek et al. Investigating the use of network analysis metrics to benchmark Industrial Symbiosis development. **Journal of Cleaner Production**, v. 469, p. 143078, 2024.

CHEN, Hongjia, et al. The scale effects of symbiotic relationships under complex driving factors: An empirical study in China. **Journal of Industrial Ecology**, 2024.

CHERTOW, Marian et al. Industrial symbiosis potential and urban infrastructure capacity in Mysuru, India. **Environmental research letters**, v. 14, n. 7, p. 075003, 2019.

CHERTOW, Marian R. "Uncovering" industrial symbiosis. **Journal of industrial Ecology**, v. 11, n. 1, p. 11-30, 2007.

CHERTOW, Marian R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual review of energy and the environment**, v. 25, n. 1, p. 313-337, 2000.

CHERTOW, Marian; EHRENFELD, John. Organizing self-organizing systems: Toward a theory of industrial symbiosis. **Journal of industrial ecology**, v. 16, n. 1, p. 13-27, 2012.

CIOCA, Lucian-Ionel et al. Industrial symbiosis through the use of biosolids as fertilizer in romanian agriculture. **Recycling**, v. 6, n. 3, p. 59, 2021.

CORSINI, Filippo; DE BERNARDI, Chiara; FREY, Marco. Industrial symbiosis as a business strategy for the circular economy: identifying regional firms' profiles and barriers to their adoption. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 67, n. 5, p. 1148-1168, 2024.

DALTO, José Luis et al. Project management and circular economy in agribusiness: A systematic literature review. **Waste Management & Research**, p. 0734242X231219643, 2023.

DESROCHERS, Pierre; SZURMAK, Joanna. Long distance trade, locational dynamics and by-product development: Insights from the history of the American cottonseed industry. **Sustainability**, v. 9, n. 4, p. 579, 2017.

DONG, Yongjie; CHENGUANG Liu; MENGYUAN Zhao. Implementation of industrial symbiosis under environmental tax policy. **International Journal of Production Economics**, 277, p. 109406, 2024.

DONNER, Mechthild et al. Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 165, p. 105236, 2021.

DUGUMA, Haile Tesfaye et al. Turning agricultural waste into packages for food: A literature review from origin to end-of-life. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 40, p. 101166, 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Regenerative agriculture**. 2021 Disponível em <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/regenerative-agriculture>>. Acesso em: 04 jun. 2024.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Food and the Circular Economy**. 2017. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/food-cities-the-circular-economy>. Acesso em: 04 jun. 2024.

FARIA, Emilia; CALDEIRA-PIRES, Armando; BARRETO, Cristiane. Social, economic, and institutional configurations of the industrial symbiosis process: A comparative analysis of the literature and a proposed theoretical and analytical framework. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7123, 2021.

FLICK, Uwe. Introdução à metodologia de pesquisa. Porto Alegre: Penso, 2012. E-book. p.123. ISBN 9788565848138. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788565848138/>. Acesso em: 15 set. 2024.

FRACCASCIA, Luca et al. Energy-based industrial symbiosis: a literature review for circular energy transition. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 4, p. 4791-4825, 2021.

FRACCASCIA, Luca; CECCARELLI, Gaia; DANGELICO, Rosa Maria. Green products from industrial symbiosis: Are consumers ready for them? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 189, p. 122395, 2023.

FRACCASCIA, Luca; GIANNOCCARO, Ilaria. What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators. **Resources, conservation and recycling**, v. 157, p. 104799, 2020.

FRACCASCIA, Luca; GIANNOCCARO, Ilaria; ALBINO, Vito. Business models for industrial symbiosis: A taxonomy focused on the form of governance. **Resources, conservation and recycling**, v. 146, p. 114-126, 2019.

FREITAS, L. A. R. U.; MAGRINI, A. Waste management in industrial construction: investigating contributions from industrial ecology. **Sustainability**, v. 9, n. 7, p. 1251, 2017. DOI: 10.3390/su9071251.

GATTO, Alessandro; CHEPELIEV, Maksym. Mounting nutritional and environmental pressures of the global food loss and waste call for urgent policy action. 2023.

GIL, Antonio C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. **Grupo GEN**, 2022. E-book. ISBN 9786559771653. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559771653/>. Acesso em: 21 mar. 2024.

GIL, Antonio C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social, 7ª edição**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019. *E-book*. ISBN 9788597020991. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597020991/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

GOLEV, Artem; CORDER, Glen D.; GIURCO, Damien P. Barriers to industrial symbiosis: Insights from the use of a maturity grid. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 1, p. 141-153, 2015.

HAMAM, Manal et al. Industrial symbiosis and agri-food system: Themes, links, and relationships. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p. 1012436, 2023.

HAQ, Hafiz et al. A preliminary assessment of industrial symbiosis in Sodankylä. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. 2, p. 100018, 2020.

HAQUE, Fatima; FAN, Chihhao; LEE, You-yi. From waste to value: Addressing the relevance of waste recovery to agricultural sector in line with circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 415, p. 137873, 2023.

HARFELDT-BERG, Lovisa; BROBERG, Sarah; ERICSSON, Karin. The importance of individual actor characteristics and contextual aspects for promoting industrial symbiosis networks. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 4927, 2022.

HARFELDT-BERG, Lovisa; HARFELDT-BERG, Magnus. Connecting organizational context to environmental sustainability initiatives and industrial symbiosis: Empirical results and case analysis. **Sustainable Production and Consumption**, v. 40, p. 210-219, 2023.

HENRIQUES, Juan et al. Industrial symbiosis: A sectoral analysis on enablers and barriers. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1723, 2021.

HOSSAIN, Mosaddeque et al. Exploring the Barriers to Implement Industrial Symbiosis in the Apparel Manufacturing Industry: Implications for Sustainable Development. **Heliyon**, 2024.

HILMI, Yahya Shafiyuddin et al. Farmers' resilience to climate change through the circular economy and sustainable agriculture: a review from developed and developing countries. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 39, p. e15, 2024.

HUANG, Zhiping; WANG, Tianran; LI, Na. Reciprocal and Symbiotic: Family Farms' Operational Performance and Long-Term Cooperation of Entities in the Agricultural Industrial Chain—From the Evidence of Xinjiang in China. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 349, 2022.

Jl, Yijun et al. Which factors promote or inhibit enterprises' participation in industrial symbiosis? An analytical approach and a case study in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, p. 118600, 2020.

KHAN, Maaz Ahmad; MAHAJAN, Ritika. Exploring factors influencing circular economy adoption and firm-level practices in the agribusiness sector: an exploratory study of Indian firms. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-31, 2023.

LANGE, Kasper PH et al. Developing and understanding design interventions in relation to industrial symbiosis dynamics. **Sustainability**, v. 9, n. 5, p. 826, 2017.

LIWARSKA-BIZUKOJC, Ewa; BIZUKOJC, Marcin. Overview of European Eco-Industrial Parks: Evaluation of Industrial Symbiosis Potential. **Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)**, v. 17, n. 2, 2018.

LYBÆK, Rikke; CHRISTENSEN, Thomas Budde; THOMSEN, Tobias Pape. Enhancing policies for deployment of Industrial symbiosis—What are the obstacles, drivers and future way forward? **Journal of cleaner production**, v. 280, p. 124351, 2021.

MALLAWAARACHCHI, Harshini et al. Unveiling the conceptual development of industrial symbiosis: Bibliometric analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120618, 2020.

MANDAL, Mamun et al. Food waste-based bio-fertilizers production by bio-based fermenters and their potential impact on the environment. **Chemosphere**, v. 353, p. 141539, 2024.

MANGLA, Sachin Kumar et al. Impact of information hiding on circular food supply chains in business-to-business context. **Journal of Business Research**, v. 135, p. 1-18, 2021.

MARTÍNEZ-MORENO, María Magdalena, et al. Circular economy and agriculture: Mapping circular practices, drivers, and barriers for traditional table-olive groves. **Sustainable Production and Consumption**, pp. 430-441, 2024.

MARTINS, Adriano de Oliveira; DOS ANJOS, Fernando Elemar Vicente; DA SILVA, Debora Oliveira. The Lean Farm: Application of Tools and Concepts of Lean Manufacturing in Agro-Pastoral Crops. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 2597, 2023.

MIRABELLA, Nadia; CASTELLANI, Valentina; SALA, Serenella. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. **Journal of cleaner production**, v. 65, p. 28-41, 2014.

MOREIRA, Wislayne Aires; BUTTURI, Maria Angela; SELLITTO, Miguel Afonso. Industrial Symbiosis: Expanding Waste Reuse in a Brazilian Network of Agricultural Companies. **Sustainability and Climate Change**, v. 16, n. 1, p. 36-47, 2023.

NEVES, Angela et al. The potential of industrial symbiosis: Case analysis and main drivers and barriers to its implementation. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 7095, 2019.

NOORI, Shiva; KOREVAAR, Gijsbert; RAMIREZ, Andrea Ramirez. Assessing industrial symbiosis potential in emerging industrial clusters: The case of Persian Gulf mining and metal industries special economic zone. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124765, 2021.

PACHÉ, Gilles. Kalundborg Industrial Symbiosis: Circular Strategy in the Light of Mutualism. **Journal of Strategic Innovation and Sustainability**, v. 19, n. 3, p. 89-97, 2024.

PANNILA, Nimni, et al. Challenging Factors to Adopt Circular Economy in Sustainable Food Supply Chain. **Sustainability**, vol.14, n.24, pp.16536, 2022.

PASQUALOTTO, Carina; CALLEGARO-DE-MENEZES, Daniela; SCHUTTE, Cornelius Stephanus Lodewyk. An overview and categorization of the drivers and barriers to the adoption of the circular economy: A systematic literature review. **Sustainability**, v. 15, n. 13, p. 10532, 2023.

PATALA, Samuli; SALMI, Asta; BOCKEN, Nancy. Intermediation dilemmas in facilitated industrial symbiosis. **Journal of cleaner production**, v. 261, p. 121093, 2020.

PESCH, Heino; LOUW, Louis. Exploring the Industrial Symbiosis Potential of Plant Factories during the Initial Establishment Phase. **Sustainability**, v. 15, n. 2, p. 1240, 2023.

PETIT, Gaëlle et al. Operationalizing circular economy. Reflections on a by-product upcycling value chain construction in the brewing sector. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 25, n. 5, p. 803-817, 2022.

PRADHITA, O. et al. Mental Model Perspective of Multi-Sector Industrial Symbiosis in Indonesia Based on Waste Exchange Strategy: Introductory Study. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012071.

SAGHAFI, Zohre; ROSHANDEL, Ramin. Agent-based simulation for technology implementation in an energy-based industrial symbiosis network. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 21, p. 200201, 2024.

SANT'ANA, Luiz Henrique et al. Circular Economics in Agricultural Waste Biomass Management. **Biomass**, v. 4, n. 2, p. 543-554, 2024.

SBAFFONI, Silvia et al. Industrial symbiosis potential on specific agri-food and metallurgical value chains in lombardy region. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 21, n. 10, p. 1709-1720, 2022.

SCANDURRA, Federica et al. The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 100, p. 107079, 2023.

SCHEI, Vidar; HANSEN, Bjørn Gunnar SELART, Marcus. "Can lonely riders become three musketeers?: Creating effective joint operations among farmers. **International Journal of Business and Management**, Vol. 7, No. 23; 2012.

SELLITTO, Miguel Afonso et al. Barriers, drivers, and relationships in industrial symbiosis of a network of Brazilian manufacturing companies. **Sustainable production and consumption**, v. 26, p. 443-454, 2021.

SHUTING, Li; LENG, Hong; YUAN, Qing. A symbiotic development strategy for farm areas and townships in Heilongjiang, China. **International Review for Spatial Planning and Sustainable Development**, v. 7, n. 1, p. 66-82, 2019.

SPORCHIA, Fabio; CARO, Dario. Exploring the potential of circular solutions to replace inorganic fertilizers in the European Union. **Science of The Total Environment**, 892, 164636, 2023.

SÖDERGREN, Karolina; PALM, Jenny. The role of local governments in overcoming barriers to industrial symbiosis. **Cleaner Environmental Systems**, v. 2, p. 100014, 2021.

VIANA, Luciano et al. Life Cycle Assessment of Oat Flake Production with Two End-of-Life Options for Agro-Industrial Residue Management. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 5124, 2023.

YEO, Zhiquan et al. Tools for promoting industrial symbiosis: A systematic review. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 5, p. 1087-1108, 2019.

ANEXO A – QUESTIONÁRIOS

Quadro 3: Questionário de identificação da empresa

Campo	Objetivo Técnico	Pergunta
Atividade Econômica	Defina a atividade econômica	Em qual atividade econômica a fazenda está inserida?
Nº de Funcionários	Caracterize o tamanho da empresa	Quantos funcionários a fazenda possui?
Faturamento Anual	Caracterize o tamanho da empresa	Quanto é o faturamento anual da fazenda?
Localização da empresa	Análise o Contexto Industrial	Onde está localizada a fazenda?
Sistema de Gestão Ambiental	Identifique as práticas ambientais existentes	A fazenda implementou um sistema de gestão ambiental?

Fonte: Azevedo et al. (2021)

Quadro 4: Questionário para avaliação do estado atual

Área	Pergunta
Insumo	A fazenda monitora os fluxos de insumos em seu processo?
Excedente	A fazenda monitora os excedentes?
Disposição	A fazenda envia os excedentes para descarte?
Recuperação/reciclagem	A fazenda encaminha os excedentes para valorização/reciclagem?
SI Intraorganizacional	A fazenda recupera internamente algum excedente?
SI Interorganizacional Remetente	A fazenda envia seu excedente para outra indústria/fazenda para valorização?
SI Interorganizacional Receptor	A fazenda recebe excedente proveniente de outra fazenda/indústria?

Fonte: Azevedo et al. (2021)

Quadro 5: Campos potenciais internos e seus respectivos objetivos técnicos

Campo	Objetivo Técnico	Pergunta
Gerenciamento	Analise a disposição corporativa para implementação de SI	A fazenda está disposta a implementar processos de SI? A liderança possui conhecimento e/ou está alinhada com o modelo de Economia Circular? A empresa é capaz de visualizar oportunidades de sinergia? E possíveis parceiros?
Social	Analise a percepção interna sobre o ambiente ao seu redor	A empresa possui medo de estabelecer vínculos com outras empresas? A empresa confia nos parceiros e/ou possíveis parceiros?
Econômico	Analise a capacidade econômica da empresa para implementar SI	A fazenda dispõe de recursos financeiros próprios para a implementação de processos de SI?
Logística	Verifique se a empresa já implementou uma rede logística	Já existe uma rede logística implementada para recolha dos excedentes?
Tecnologia	Analise a capacidade tecnológica da empresa	A tecnologia associada aos processos produtivos permite a recolha dos seus dados? O volume de resíduos gerados é constante? Há monitoramento?
Recursos Humanos	Analise a capacidade técnica dos funcionários	Existe alguém no quadro de funcionários com experiência na valorização de excedentes? O envolvimento em práticas circulares implica no aumento de atividades administrativas?
Gestão Ambiental	Analise a existência de um plano de ação ambiental na empresa	Existe um plano central para valorização centrado na valorização do excedente?

Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2021)

Quadro 6: Campos potenciais externos e seus respectivos objetivos técnicos

Campo	Objetivo Técnico	Pergunta
Gerenciamento	Identificar possíveis relações de SI em entidade externas	A empresa esteve envolvida num programa de SI? O setor em que a empresa está inserida possui conhecimento sobre Economia Circular e/ou Simbiose Industrial?
Social	Analisar a relação com o ambiente externo	A empresa possui bom relacionamento com a comunidade próxima? E com outras empresas?
Econômico	Identificar fontes de financiamento	A empresa possui conhecimento de quaisquer fundos/medidas existentes para promover a implementação de processos de SI?
Logística	Identificar o contexto logístico para apoiar um potencial simbiose	Existem empresas vizinhas na área? A posição geográfica da empresa é boa ou de difícil acesso?
Tecnológica	Identificar implementações anteriores de SI na área	A empresa sabe se alguma empresa vizinha troca excedentes com outras empresas? A empresa possui acesso a novas tecnologias com facilidade?
Jurídico	Identificar o quadro legal existente que apoia ou dificulta a implementação de processos simbióticos	A empresa conhece algum regulamento/projeto que apoie a implementação de SI na sua área? A empresa possui conhecimento sobre legislação/regulamento específico para os seus resíduos gerados?

Fonte: Adaptado de Azevedo et al. (2021)

APÊNCICE A – QUESTIONÁRIOS ESTADO ATUAL

- Coordenadora de Produção Agrícola
1. Quais são as principais etapas do ciclo de produção agrícola (preparo do solo, plantio, irrigação, colheita etc.)? Descreva o ciclo de produção da fazenda.
 2. Existem práticas de rotação de culturas ou consórcio de culturas na fazenda? Quais?
 3. Quais são os principais insumos utilizados no processo produtivo? (ex.: fertilizantes, defensivos agrícolas, sementes, combustíveis etc.).
 4. Existem insumos biológicos (ex.: biofertilizantes) ou práticas de agricultura sustentável sendo adotadas?
 5. Existe algum tipo de monitoramento regular do ciclo produtivo? Como é realizado?
 6. A fazenda adota algum sistema de gestão ambiental ou possui certificações ambientais?
 7. Quais tipos de resíduos são gerados ao longo do ciclo de produção? (ex.: resíduos orgânicos, embalagens de agrotóxicos, plástico etc.).
 8. Existe algum tipo de separação e classificação dos resíduos? Se sim, como é realizada?
 9. Como os resíduos orgânicos são gerenciados? Há compostagem, biodigestão ou outra forma de reaproveitamento?
 10. O que é feito com as embalagens de defensivos agrícolas após o uso? Há devolução, descarte ou reciclagem?
 11. A fazenda realiza algum tipo de troca ou venda de resíduos para outras empresas ou agricultores?
 12. Quais são as principais fontes de água utilizadas na fazenda? (ex.: poços, rios, chuva etc.).
 13. Existem práticas de irrigação adotadas? Se sim, quais são os métodos e tecnologias empregadas (ex.: gotejamento, aspersão)?
 14. Existe algum sistema de monitoramento do consumo de água? Como ele é feito?
 15. Há reuso da água utilizada em processos agrícolas ou em outras atividades na fazenda (como por exemplo: tratamento da água utilizada para lavar os aplicadores de defensivos)? Como isso é feito?
 16. A água descartada é tratada ou lançada diretamente no ambiente? Descreva o processo, se houver.
 17. Quais são as principais barreiras enfrentadas para melhorar o manejo de resíduos e uso da água na fazenda?

18. Há algum outro ponto ou prática que você gostaria de destacar relacionado ao ciclo de produção, insumos, resíduos ou gestão da água?

- Coordenador de QSSMA

1. Existe um Sistema de Gestão Ambiental formalmente implementado? Se sim, qual é o padrão adotado (ex.: ISO 14001)?
2. Existe um sistema de separação e coleta dos resíduos orgânicos gerados no refeitório e nas áreas de convivência? Se sim, como ele funciona?
3. Os resíduos orgânicos são destinados para compostagem, alimentação animal, descarte ou outra prática? Descreva o processo.
4. Há alguma forma de quantificação desses resíduos?
5. Quais são as principais fontes de água utilizadas na fazenda? (ex.: poços, rios, chuva etc.).
6. A água utilizada na lavagem de máquinas e veículos passa por algum tipo de tratamento antes do descarte?
7. Há monitoramento do consumo de água nas atividades da sede? Se sim, como isso é feito?
8. Quais tipos de resíduos são gerados durante as manutenções de máquinas e equipamentos? (ex.: óleo, lubrificantes, peças quebradas, filtros etc.).
9. Existe um sistema de separação e armazenamento temporário de óleos e lubrificantes usados? Como esses resíduos são gerenciados?
10. As peças quebradas e os resíduos sólidos gerados na manutenção (ex.: metais, plásticos) são reciclados, vendidos, ou descartados de outra forma? Descreva o processo.
11. Existe um ponto de coleta ou um sistema de separação de materiais recicláveis? Como é realizado o controle e a destinação desses materiais?
12. A fazenda possui parcerias com cooperativas de reciclagem ou outras empresas para a destinação dos materiais recicláveis?
13. Existe resíduos não recicláveis e ou/perigosos? Se sim, como é feito o processo de destinação?
14. Quais são os principais desafios enfrentados na gestão de resíduos da sede?
15. Existem planos ou projetos futuros para melhorar o manejo de resíduos, tratamento de água ou outras práticas ambientais?

16. Há algo mais que você gostaria de destacar em relação ao gerenciamento ambiental na sede da fazenda?

- Coordenador Agroindustrial - UBA

1. Existe um controle formal para o descarte ou envio dessas lonas para reciclagem? Se sim, como é feito?
2. As lonas usadas são armazenadas em algum local específico antes de serem enviadas para reciclagem?
3. A algodoeira possui parcerias com empresas de reciclagem específicas para a destinação das lonas?
4. Quais são os volumes mensais aproximados de cada subproduto gerado: briquete, fibrilha e caroço?
5. Como cada um desses subprodutos é utilizado ou destinado? (ex.: comercialização, uso interno, descarte etc.)
6. Existe algum tipo de tratamento ou processamento adicional aplicado aos subprodutos antes da destinação final?
7. A algodoeira realiza algum tipo de monitoramento ou registro dos subprodutos gerados?
8. Quais são os principais resíduos recicláveis gerados durante o processamento do algodão? (ex.: plástico, papel, metal etc.)
9. Existe um ponto de coleta ou sistema de separação para esses resíduos? Como é feita a organização e armazenamento?
10. Esses resíduos recicláveis são enviados para empresas de reciclagem, cooperativas, ou existe algum outro destino?
11. Há registros ou métricas de controle para o volume de resíduos recicláveis gerados e enviados para reciclagem?
12. Existe resíduos não recicláveis e ou/perigosos? Se sim, como é feito o processo de destinação?
13. Existe algum outro ponto relevante sobre a gestão de resíduos e subprodutos na algodoeira que você gostaria de destacar?

- Coordenadora Agroindustrial - UBG

1. Quais são os tipos de resíduos gerados durante o processo de limpeza dos grãos? (ex.: palha, impurezas, cascas etc.)
2. Existe um controle de volume para os resíduos gerados na limpeza? Se sim, como ele é realizado?
3. Quais são as destinações possíveis para esses resíduos? (ex.: compostagem, alimentação animal, descarte etc.)
4. Existe algum tratamento ou processamento adicional aplicado aos resíduos da limpeza antes da destinação?
5. Qual é a quantidade média de resíduos gerados mensalmente pela queima de lenha na fofnalha? (ex.: cinzas, fuligem etc.)
6. Esses resíduos são coletados e armazenados em algum local específico?
7. Quais são as destinações dadas aos resíduos da fofnalha? (ex.: uso como fertilizante, descarte etc.)
8. Há monitoramento da quantidade de lenha utilizada e dos resíduos gerados na queima?
9. Quais são os principais resíduos recicláveis gerados no armazém? (ex.: plástico, papelão, embalagens etc.)
10. Existe um ponto de coleta ou sistema de separação para esses resíduos? Como é feita a organização e armazenamento?
11. Esses resíduos recicláveis são enviados para empresas de reciclagem, cooperativas, ou existe algum outro destino?
12. Há registros ou métricas de controle para o volume de resíduos recicláveis gerados e enviados para reciclagem?
13. Quais são os principais desafios enfrentados na gestão dos resíduos gerados no armazém?
14. Existem planos ou projetos para melhorar o gerenciamento dos resíduos da limpeza, resíduos da fofnalha e resíduos recicláveis?
15. Existe algum outro ponto relevante sobre a gestão de resíduos no armazém que você gostaria de destacar?

APÊNCICE B – QUESTIONÁRIO NOVO CENÁRIO

- Analista de Meio Ambiente Regional
1. Quais ações específicas relacionadas à Economia Circular estão planejadas para as fazendas do grupo localizadas na Serra do Penitente?
 2. Quais ações estão em fase de implementação na Fazenda (Unidade de análise da pesquisa)?
 3. Quais os resultados iniciais ou aprendizados foram obtidos até o momento?
 4. Quais os obstáculos enfrentados pela empresa na adesão a Economia Circular? Esses obstáculos são mais relacionados a questões internas (com gestão, logística, recursos financeiros, tecnologia utilizada) ou externo (legislação, empresas parceiras necessárias, mercado)?
 5. Quais estratégias utilizadas para superar esses desafios?
 6. Quais as oportunidades que a empresa enxerga ao integrar práticas de Economia Circular?
 7. Existem parceiros ou colaborações externas (com outras empresas, governo, consultoria) que impulsiona as ações?
 8. A relação entre as fazendas da Serra do Penitente, que não pertencem ao grupo, é marcada por abertura ao diálogo e cooperação para ações de Economia Circular, ou elas operam de forma mais isolada, com interação e comunicação limitadas?