

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CARLOS EDUARDO SOARES CAMPAROTTI

**ANÁLISE DA SIMBIOSE INDUSTRIAL POR MEIO DA SIMULAÇÃO  
BASEADA EM AGENTES: APLICAÇÃO NO SETOR  
AGROINDUSTRIAL**

SÃO CARLOS  
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DA SIMBIOSE INDUSTRIAL POR MEIO DA SIMULAÇÃO  
BASEADA EM AGENTES: APLICAÇÃO NO SETOR  
AGROINDUSTRIAL**

CARLOS EDUARDO SOARES CAMPAROTTI

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de produção.

Orientação: Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon

SÃO CARLOS  
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

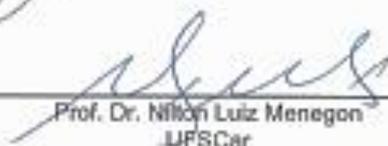
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado do candidato Carlos Eduardo Soares Camparotti, realizada em 06/02/2020:



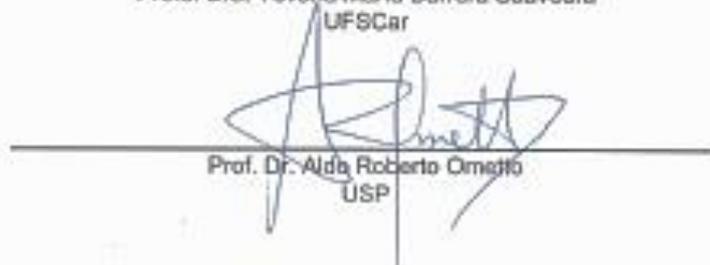
Prof. Dr. João Alberto Camarotto  
UFSCar



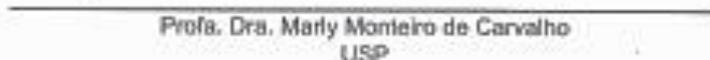
Prof. Dr. Nilson Luiz Menegon  
UFSCar



Profa. Dra. Yovana Maria Barrera Saavedra  
UFSCar



Prof. Dr. Aldo Roberto Ornetto  
USP



Profa. Dra. Marly Monteiro de Carvalho  
USP

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Marly Monteiro de Carvalho e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ão) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.



Prof. Dr. João Alberto Camarotto

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, meu pai protetor, presença constante e alegre em minha vida.

Agradeço as duas pessoas que fizeram o impossível para que eu estivesse nesta etapa da vida, dois guerreiros que enfrentaram tudo e todos para que pudesse ter minhas vitórias. Vocês são parte da minha vida e história, são a base de tudo e para quem eu especialmente dedico esta tese. Vocês, estimados pais, me ensinam diariamente o significado da palavra amor, verdade e felicidade.

Agradeço também a minha esposa, luz dos meus dias, meu complemento, que deu suporte e carinho para enfrentar as preocupações. Obrigado por segurar minha mão e me ajudar na escalada deste trabalho, mesmo em momentos de exaustão e desafios estressantes.

Agradeço ao meu orientador Menegon pela ajuda essencial em cada reunião e compreensão pela demora ou dificuldade em alguma etapa, o senhor é um exemplo de professor e orientador que seguirei em minha jornada. Agradeço também aos orientadores anteriores de mestrado com o Prof. Kleber e de graduação com a Prof. Ivana pelo auxílio na construção do meu perfil pessoal e profissional, esta última em especial a seu conselho que me levou a vida acadêmica.

Agradeço aos amigos de jornada que fizeram das dificuldades meras oportunidades e dos momentos de desespero fizeram momentos de esperança. Cito os principais: Tiago, Jéssica, Maurício, Rogério, Márcio, Vinícius, Mariana e Larissa.

Agradeço imensamente a banca que me ajudou na construção deste trabalho, com o Prof. Aldo que sempre participou das bancas do mestrado e doutorado e sugeriu os caminhos que escolhi seguir na pesquisa, a Prof. Yovana Saavedra, o Prof. Camarotto que sempre me deu apoio no programa e a Prof. Marly Carvalho.

Por fim, ao PPGEF da UFSCar, com o Robson e Lucas, coordenador e professores, os quais possibilitaram a realização deste sonho e possibilitam a transformação da sociedade em algo maior e melhor.

## RESUMO

O meio ambiente necessita de ações benéficas para eliminar ou reduzir os impactos ambientais causados pelos seres humanos, considerando seu aumento populacional num planeta finito. A Simbiose Industrial (SI) é focada justamente na não geração ou redução de resíduos descartados na natureza, onde esta procura a eficiência no uso de recursos e sua reutilização constante entre diversas empresas. O objetivo desta tese foi analisar o desenvolvimento da SI por meio da Simulação Baseada em Agentes (SBA) em um sistema agroindustrial na cidade de Dourados-MS considerando tanto as trocas de resíduos sólidos quanto os relacionamentos dos agentes. Para aumentar a organização e estruturação de um sistema com aspectos favoráveis para o projeto de SI, utiliza-se da ciência de projeto para auxiliar nesta construção, com a compreensão dos elementos, funções e propriedades. Além da ciência do projeto o novo sistema necessita de verificação e apoio na tomada de decisão, pois toda mudança é altamente impactante, o que é conquistado através da modelagem e simulação das variáveis e relações existentes no sistema, neste caso considerando como base as ações tomadas pelos agentes. O objeto de pesquisa foi a cidade de Dourados-MS pelo acesso aos dados e quantidade de empresas. Foi realizada uma revisão sistemática sobre a SI para compreensão de suas características e atividades, além de uma revisão exploratória sobre ciência do projeto. Além destas foram realizadas revisões sistemáticas sobre a relação entre SI e SBA e SI o objeto de estudo no setor agroindustrial. A partir da estrutura para desenvolver a SI e a partir do procedimento de pesquisa de modelagem e simulação, realizou-se a compreensão do caso com visitas e contatos eletrônicos com as empresas e a construção do modelo computacional deste com o equacionamento dos dados. Com isso, o modelo computacional foi traduzido para o software Netlogo, mais citado em pesquisas de SI e aberto para uso, onde realizou-se as simulações para análise dos dados e compreensão do comportamento dos agentes. A partir dos dados foi possível identificar informações sobre dois contextos principais, o físico, com a geração de resíduos e as especificidades e propriedades do sistema, e o social, com relacionamentos e influência de atores sociais na tomada de decisão. Foram definidos parâmetros para comparação dos cenários de simulação e identificação dos melhores caminhos para o sucesso da SI no sistema, como a eco-conectância e a quantidade de resíduos reutilizados. A simulação possibilitou identificar o comportamento de cada variável, bem como a reutilização de resíduos e o número de agentes a serem criados para isto, a integração, os relacionamentos entre os agentes e o impacto positivo da presença do coordenador. O papel do estado, sociedade, mercado, redes financeiras também contribuem para a evolução dos agentes, assim como a capacidade institucional de cada membro do sistema. Apresentou-se um roteiro para estruturação do modelo computacional e comprovou-se a aplicabilidade da SBA para desenvolver a SI no sistema apresentado, mostrando as especificidades, como a sazonalidade e variabilidade da agricultura e pecuária.

Palavras-chave: Simbiose Industrial; Simulação baseada em agentes; Resíduos; Contexto social; Agroindústrias.

## ABSTRACT

The environment needs beneficial actions to eliminate or reduce the environmental impacts caused by human beings, considering their population increase on a finite planet. Industrial Symbiosis (SI) is focused precisely on the non-generation or reduction of waste discarded in nature, where it seeks efficiency in the use of resources and its constant reuse among different companies. The objective of this thesis was to analyze the development of SI through Agent Based Simulation (SBA) in an agro-industrial system in the city of Dourados-MS considering both the exchange of solid waste and the relationships of agents. In order to increase the organization and structuring of a system with favorable aspects for the IS project, design science is used to assist in this construction, with the understanding of the elements, functions and properties. In addition to the science of the project, the new system needs verification and support in decision making, as every change is highly impactful, which is achieved through modeling and simulation of the variables and relationships existing in the system, in this case considering the actions taken as a basis by the agents. The research object was the city of Dourados-MS for access to data and number of companies. A systematic review on the IS was carried out to understand its characteristics and activities, in addition to an exploratory review on project science. In addition to these, systematic reviews were carried out on the relationship between SI and SBA and SI the object of study in the agroindustrial sector. From the structure to develop the SI and from the modeling and simulation research procedure, the case was understood with visits and electronic contacts with the companies and the construction of its computational model with the equation of the data. With this, the computational model was translated into the Netlogo software, which is most mentioned in IS research and open for use, where simulations were performed to analyze the data and understand the agents' behavior. From the data collected it was possible to identify information about two main contexts, the physical, with the generation of waste and the specificities and properties of the system, and the social, with relationships and influence of social actors in decision making. Parameters were defined to compare the simulation scenarios and identify the best paths for the IS to succeed in the system, such as eco-connectivity and the amount of reused waste. The simulation made it possible to identify the behavior of each variable, as well as the reuse of waste and the number of agents to be created for this, the integration, the relationships between the agents and the positive impact of the presence of the coordinator. The role of government, society, the market, and financial networks also contribute to the evolution of agents, as well as the institutional capacity of each member of the system. A script for structuring the computational model was presented and the applicability of the SBA to develop SI in the presented system was proven, showing the specificities, such as the seasonality and variability of agriculture and livestock.

**Keywords:** Industrial Symbiosis; Agent based simulation; Waste; Social Context; Agroindustries.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais categorias da ciência de projeto .....	22
Figura 2 - Amplitude do ato de projetar .....	24
Figura 3 -Sub-regiões da ciência do projeto.....	25
Figura 4 - Etapas do modelo de VDI.....	26
Figura 5 - Etapas de design de Pahl e Beitz (1996) .....	27
Figura 6 - Modelo de Pugh (1991).....	30
Figura 7 - Os três níveis da Ecologia Industrial.....	32
Figura 8 - Transições de sistema em uma perspectiva multinível .....	35
Figura 9 - Processo de emergência da SI com o papel do campeão.....	49
Figura 10 - Representação do sistema de projeto GERIPA .....	62
Figura 11 - Fluxograma dos cenários .....	63
Figura 12 - Passos de Behera et al (2012).....	64
Figura 13 - Etapas para melhorar um distrito industrial com SI.....	65
Figura 14 - Abordagem para favorecimento da SI.....	65
Figura 15 - Passos de Iacondini et al (2015) .....	66
Figura 16 - Estrutura para modelar a SI baseado na teoria de sistemas.....	68
Figura 17- Modelo de fases de Lange et al (2017).....	69
Figura 18 - Atividades para planejar SI .....	70
Figura 19 - Aplicação da IDF0 para SI.....	71
Figura 20 - Abordagem de Martin, Svensson e Eklund (2015) .....	72
Figura 21 - Estrutura da abordagem de Ohnishi et al (2017) .....	73
Figura 22 - Método de Looplocal .....	74
Figura 23 - Esquema do modelo de Simboli, Taddeo e Morgante (2014).....	75
Figura 24 - Construção da capacidade institucional para desenvolvimento da SI.....	76
Figura 25 - Abordagem de três níveis .....	77
Figura 26 - Estrutura conceitual da dinâmica de SI .....	78
Figura 27 - Passos que mais aparecem nos frameworks de SI .....	85
Figura 28 - Ecologia Agroindustrial.....	91
Figura 29 - Fluxograma resumo de modelos de ciência do projeto .....	93
Figura 30 - Integração fluxograma de ciência do projeto e fluxograma para desenvolver SI.....	96
Figura 31 - Ciclo de modelagem.....	99
Figura 32 - Atividade importantes para modelagem .....	101
Figura 33 - Processo de modelagem e simulação com validação e verificação .....	103
Figura 34 - Etapas do método realizado nesta pesquisa .....	111
Figura 35 - Roteiro de RBS.....	112
Figura 36 - Representação das etapas no modelo de Hubka e Eder (1995) .....	117
Figura 37 - Fluxos de produtos e resíduos do sistema atual.....	141
Figura 38 – Monitores para os dados de entrada no <i>software</i> .....	146
Figura 39 - Tela de simulação e monitores .....	147
Figura 40 - Monitores das variáveis com valores .....	149
Figura 41 - Planilha para cálculo dos pontos conforme atividades de SI .....	158
Figura 42 - Ciclo para busca de trocas simbióticas.....	160
Figura 43 - Planilha para controle do uso de resíduos externamente .....	165
Figura 44 - Número de agentes do cenário 1 .....	167
Figura 45 - Medidas ambientais para o cenário 1 .....	168
Figura 46 - Integração do sistema do cenário 1 .....	168
Figura 47 - Quantidade de resíduos disponíveis para reuso e para descarte .....	169

Figura 48- Quantidade de resíduos restantes e a eco-conectância .....	169
Figura 49 - Porcentagem de resíduos trocados no cenário 1 .....	170
Figura 50 – Ganhos (+) ou perdas (-) com resíduos no cenário 1 .....	171
Figura 51 - Ociosidade das novas empresas do cenário 1 .....	171
Figura 52 - Ligações de relacionamentos e de trocas simbióticas no cenário 1 .....	172
Figura 53 - Medidas da simulação para o cenário 2.....	173
Figura 54 - Ligações ambientais e ociosidade do cenário 2.....	174
Figura 55 - Quantidade de resíduos restantes no cenário 2.....	174
Figura 56 - Porcentagem de resíduos trocados no cenário 2 .....	175
Figura 57 - Ganhos (+) ou perdas (-) com resíduos e quantidade de resíduos úteis e descartados no cenário 2.....	175
Figura 58 - Inovação no cenário 2 .....	176
Figura 59 - Ligações de relacionamentos e trocas simbióticas no cenário 2.....	177
Figura 60 - Medidas da simulação para o cenário 3.....	178
Figura 61 - Eco-conectância do cenário 3.....	179
Figura 62 - Quantidade de resíduos restantes e inovação do cenário 3 .....	180
Figura 63 - Porcentagem de resíduos trocados e ociosidade no cenário 3.....	180
Figura 64 - Quantidade de resíduos úteis e descartados no cenário 3 .....	181
Figura 68 - Ligações de relacionamentos e trocas simbióticas e ganho ou perda com resíduos no cenário 3.....	181
Figura 66 - Quantidade de ligações com a inclusão do coordenador .....	182
Figura 67 - Ligações e Eco-conectância com potência dos relacionamentos no máximo. ....	184
Figura 68 - Roteiro para construção do modelo computacional .....	189
Figura 69 - Sistema com elementos da propensão ambiental e divisão em módulos.....	197

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ancoragem física e institucional .....	49
Quadro 2 - Descrição das propriedades do sistema adaptativo complexo .....	57
Quadro 3 - Principais indicadores para SI .....	59
Quadro 4 - quatro conceitos-chave da Design Science aplicados a SI .....	68
Quadro 5 - Comparação dos frameworks para projeto de SI .....	80
Quadro 6 - Identificação das etapas que aparecem em cada framework. ....	85
Quadro 7 - Artigos e contribuições para o estudo .....	89
Quadro 8 - Atividades importantes na SI .....	94
Quadro 9 - Passos para aplicação da SBA .....	109
Quadro 10 - Artigos de SI com aplicação da SBA .....	110
Quadro 11 - Agentes do sistema .....	120
Quadro 12 - Dados do cultivo da cana-de-açúcar .....	123
Quadro 13 - Dados do cultivo do arroz .....	123
Quadro 14 - Dados do cultivo do milho .....	124
Quadro 15 - Dados do cultivo da soja .....	124
Quadro 16 - Dados do cultivo do trigo .....	124
Quadro 17 - Dados da granja de suínos .....	125
Quadro 18 - Dados da granja de frangos .....	126
Quadro 19 - Dados processadora de carne de frango .....	127
Quadro 20 - Dados da processadora de carne suína .....	127
Quadro 21 - Dados da usina sucroalcooleira .....	128
Quadro 22 - Dados do moinho de trigo .....	128
Quadro 23 - Dados da esmagadora de soja .....	129
Quadro 24 - Dados das produtoras de ração animal .....	129
Quadro 25 - Dados dos laticínios .....	130
Quadro 26 - Dados da beneficiadora de arroz .....	131
Quadro 27 - Relação de resíduos encontrados no sistema .....	131
Quadro 28 - Equações para os agentes agrícolas .....	133
Quadro 29 - Cálculo da quantidade de palhada .....	134
Quadro 30 - Equações para a pecuária .....	135
Quadro 31 - Equações para abatedouros e/ou processadores de carne .....	136
Quadro 32 - Equações para demais agroindústrias .....	136
Quadro 33 - Medidas para contribuição ambiental dos cenários .....	137
Quadro 34 - Protocolo ODD .....	142
Quadro 35 - Trechos de conversas informais nas visitas técnicas .....	150
Quadro 36 - Classificação para capacidade institucional .....	154
Quadro 37 - Classificação para políticas públicas ambientais .....	155
Quadro 38 - Classificação para a influência da demanda .....	155
Quadro 39 - Classificação para a influência da sociedade .....	156
Quadro 40 - Classificação para apoio de redes de pesquisa .....	156
Quadro 41 - Classificação para custos .....	157
Quadro 42 - Classificação para apoio de redes financiadoras .....	157
Quadro 43 - Classificação conforme realização das atividades de SI .....	157
Quadro 44 - Submodelos do modelo computacional principal .....	162
Quadro 45 - Comparação da presença ou ausência do coordenador no sistema .....	172
Quadro 46 - Comparação com a presença do coordenador e demais agentes sociais .....	176

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de classificação dos elementos do caso conforme os entrevistados .....	177
Tabela 2 - Dados de 10 simulações do mesmo cenário.....	182
Tabela 3 - Dados de cinco simulações do mesmo cenário .....	183
Tabela 4 - Relação entre a capacidade, resíduos restantes e ociosidade .....	184
Tabela 5 - Comparação dos resultados cenários simulados .....	190

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SI	Simbiose Industrial
SBA	Simulação baseada em agentes
FOA	Farinha de origem animal
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
EC	Economia Circular
EI	Ecologia Industrial
EPI	Eco Parque Industrial
CIMO	Contexto, Intervenções, Mecanismos e Resultados
ODD	Overview, Design Concepts e Details
RBS	Revisão Bibliográfica Sistemática

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>1.1. Problema de pesquisa</b> .....	12
<b>1.2. Objetivo</b> .....	15
1.2.1. Objetivos específicos .....	15
<b>1.3. Justificativa</b> .....	15
<b>1.4. Introdução à metodologia de pesquisa</b> .....	19
<b>1.5. Delimitação do escopo</b> .....	20
<b>1.6. Conclusão do capítulo</b> .....	20
<b>Capítulo 2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1. A ciência do projeto como teoria dos processos de projeto</b> .....	21
2.1.1. Projeto e sua ciência .....	23
2.1.2. Metodologias de projeto .....	25
2.1.3. Projeto como um processo social .....	29
<b>2.2. A simbiose industrial como teoria do sistema técnico</b> .....	31
2.2.1. Economia Circular e Ecologia Industrial: conceitos norteadores da SI .....	31
2.2.2. O conceito da SI .....	36
2.2.3. Principais benefícios e barreiras para a SI.....	44
2.2.4. Formas de organização no desenvolvimento da SI .....	46
2.2.5. O contexto social da SI.....	50
2.2.6. A SI como um sistema adaptativo complexo .....	53
2.2.7. Indicadores para analisar o desenvolvimento da SI .....	59
<b>2.3. Métodos de projeto para si</b> .....	61
2.3.1. Contexto no agronegócio brasileiro: projeto GERIPA.....	61
2.3.2. Passos gerais para a construção da SI.....	64
2.3.3. Metodologias com aspectos de engenharia e projeto .....	66
2.3.4. Metodologias com foco na análise de fluxos.....	72
2.3.5. Metodologias analíticas de SI: foco no aspecto social .....	74
2.3.6. Análise geral.....	79
<b>2.4. O conhecimento do objeto: a si no contexto do agronegócio</b> .....	87
<b>2.5. Considerações finais do referencial conceitual</b> .....	92
<b>Capítulo 3. METODOLOGIA</b> .....	<b>97</b>
<b>3.1. Classificação metodológica</b> .....	97
<b>3.2. Método de pesquisa modelagem e simulação</b> .....	98
3.2.1. A SBA como método para modelagem e simulação .....	103

3.3.	Procedimento de pesquisa .....	111
3.4.	Racionalidade da pesquisa.....	117
3.5.	Definição dos critérios para compor os agentes, as variáveis e os parâmetros.....	119
<b>Capítulo 4. COMPREENSÃO DO SISTEMA PARA MODELAGEM E SIMULAÇÃO</b>		<b>120</b>
4.1.	A coleta de dados.....	122
4.1.1.	Agricultura.....	122
4.1.2.	Pecuária .....	125
4.1.3.	Abatedouros e processadores de carne .....	126
4.1.4.	Processadores de alimentos agrícolas.....	127
4.2.	Modelagem.....	133
4.3.	O modelo computacional .....	142
4.3.1.	ODD para o modelo preliminar .....	143
4.3.2.	ODD do modelo principal .....	152
4.1.	Verificação do modelo.....	165
4.1.1.	Verificação.....	165
4.2.	Resultados da simulação .....	166
4.2.1.	O cenário 1.....	167
4.2.2.	O cenário 2.....	172
4.2.3.	O cenário 3.....	177
4.2.4.	Análise do cenário real para melhorias possíveis.....	182
4.2.5.	Especificidades do sistema industrial analisado.....	185
4.2.6.	Sinergias potenciais para os resíduos descartados no cenário atual .....	186
4.3.	Roteiro para o modelo de simulação.....	188
<b>Capítulo 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>		<b>190</b>
5.1.	Considerações finais sobre a compreensão do sistema para modelagem e simulação	190
5.2.	Considerações finais da pesquisa .....	196
5.3.	Conclusões acerca das questões de pesquisa.....	199
5.3.1.	Como a estrutura de projeto contribui para o desenvolvimento da SI em um sistema? 199	
5.3.2.	Qual a contribuição da SBA para o projeto da SI e sua validação em um sistema? 200	
5.3.3.	Qual a influência do contexto social no desenvolvimento da SI e como considera-lo na SBA?.....	201
5.4.	Conclusões acerca do problema de pesquisa .....	202
5.5.	Limitações .....	204
5.6.	Trabalhos futuros.....	204

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>206</b>
<b>APÊNDICE A – Protocolo RBS para Simbiose Industrial.....</b>	<b>221</b>
<b>APÊNDICE B – Protocolo RBS para SI e Agro .....</b>	<b>222</b>
<b>APÊNDICE C – Protocolo RBS para SI e SBA.....</b>	<b>223</b>

## Capítulo 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é essencial para preservação da natureza e do planeta finito onde são retirados os recursos para a produção industrial e depositados a quantidade correspondente dos resíduos gerados. Justamente por sua limitação de recursos, torna-se necessária a adequação das novas teorias e práticas que desenvolvam impactos ambientais positivos ao meio ambiente e a sociedade como um todo, para perpetuar as condições ambientais favoráveis à qualidade de vida existentes.

Com a preocupação mundial dos problemas ambientais, o que pode ser verificado no acordo de Paris assinado por cerca de 187 países conforme a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas em 2017 (em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC*), torna-se evidente a necessidade por ações que busquem a maior eficiência na utilização de recursos naturais e a eco-inovação dentro dos processos produtivos para reduzir a geração de resíduos descartados ao meio ambiente e a geração de gases do efeito estufa (CHERTOW, 2007).

As ações necessárias para a ampliação das condições ambientais favoráveis são consideradas criações ou inovações benéficas, com objetivo de satisfazer as necessidades recorrentes da humanidade que se depara com a perspectiva de que diversos problemas naturais derivam justamente das ações humanas atuais onde o planeta é enxergado como um recurso infinito, sem consideração de aspectos de longo prazo (MILEVA-BOSHKOSKA; RONČEVI; URŠIČ, 2018; CHERTOW; PARK, 2016).

Tais ações podem ser desenvolvidas a partir de conceitos como a Ecologia Industrial (EI) e a Economia circular (EC) que buscam a obtenção de um desempenho mais sustentável para o planeta. Allenby (2000) diz que a EI integra sistemas de engenharia com princípios ecológicos, e busca redução dos impactos ambientais negativos com o uso eficiente de materiais, água e energia, e consequentemente com menor geração de resíduos e descarte de lixo. A EC promove fluxos circulares para manter recursos em ciclos de uso e regenerar sistemas naturais, tornando-se popular entre as empresas e os decisores políticos (MACARTHUR, 2015; MOREAU et al., 2017).

Conforme Chertow (2000), surgiram dois conceitos importantes dentro da EI, a Simbiose Industrial (SI) e o Eco-Parques Industriais (EPI). Os dois conceitos adequam as empresas a um crescimento ambientalmente responsável, e atuam com a filosofia de redução de resíduos dispostos no meio ambiente e minimização da poluição.

A SI, objeto deste estudo, é caracterizada como a troca de materiais, energia, água e subprodutos entre parceiros de negócios colaborativos para obter vantagem competitiva e eco inovação (LOMBARDI; LAYBOURN, 2012). Ela cria valor nos resíduos em meio de restrições econômicas, aumento de regulações ambientais, envolve colaboração de firmas para encontrar maneiras econômicas para fazer mais com menos, e transforma estes em *inputs* valiosos (PAQUIN; BUSCH; TILLEMANN, 2015).

A implementação do conceito de SI continua a evoluir (CHERTOW; PARK, 2016), especialmente com o aumento do custo das matérias-primas devido à escassez de recursos naturais, bem como pelo fato de que as restrições ambientais mais rigorosas têm promovido esforços de pesquisa para a minimização dos custos de produção, a gestão de resíduos sólidos e a minimização do impacto ambiental negativo (SHI; CHERTOW; SONG, 2010; SILVA et al, 2016). Além disso, a SI melhora a sustentabilidade regional através de colaboração entre firmas para uso mais eficiente de materiais e energia, com uso consciente dos recursos até seu esgotamento energético (ZHU; RUTH, 2014).

Para ter sucesso em sua implementação, a SI precisa de um planejamento coerente e estruturado (LANGE et al, 2017). Portanto, para melhorar a estruturação de projetos organizacionais e tecnológicos em sistemas ambientalmente responsáveis, a ciência do projeto consegue buscar a eficiência do sistema e das empresas envolvidas, analisando a relação entre os agentes, os resíduos e suas quantidades e as condições físicas e tecnológicas do sistema e o aspecto ambiental e econômico envolto ao sistema (LANGE et al, 2017; ASTUTI; ASTUTI, 2018). Desta forma, obtém-se a transformação de informações das condições de necessidade, demanda, requisitos e restrições, através de uma estrutura que preencha estas questões (HUBKA, EDER, 1996; EDER, 2011).

A ciência do projeto é, portanto, útil para questões prescritivas de projeto e relacioná-las com as descritivas, e os métodos participativos de modelagem são amplamente aceitos pela academia como formas de incentivar o aprendizado co-evolucionário entre as partes interessadas durante o processo de projetar soluções específicas de contexto (HOLTZ et al, 2015; LANGE et al, 2017). Logo, ela é capaz de facilitar o processo de construção da SI (LANGE et al, 2017) e de contribuir para a formação de uma estrutura para seu desenvolvimento adequado.

Os conceitos de SI e ciência do projeto conseguem estruturar as etapas e procedimentos para desenvolver um sistema simbiótico, porém necessitam de uma ferramenta de apoio que forneça dados para tomada de decisão, mostrando como o sistema comportará e quais serão os possíveis resultados de cada ação tomada. Um

modelo para analisar áreas industriais com objetivos sustentáveis, é de acordo com Romero e Ruiz (2014) e Mantese e Amaral (2017) o método de simulação baseada em agentes (entidades individuais que formam o sistema) (SBA).

Um modelo de simulação fornece uma representação articulada do real, considera a dinâmica temporal e de eventos e a variabilidade do sistema, facilitando a tomada de decisão. É uma ferramenta que constrói situações que possibilitam experimentações e a identificação de variantes pertinentes, inserindo o sistema em situações potenciais (BÉGUIN; WEILL-FASSINA, 1997).

Para comprovar sua aplicabilidade, Batten (2009) afirma que o objetivo da SBA não é prever o futuro, mas explorar os futuros alternativos que podem se desenvolver sob diferentes condições. Segundo Lange et al (2017) e Romero e Ruiz (2014) a SBA permitem mostrar quais caminhos de transição provavelmente ocorrerão em determinados cenários de intervenção de projeto e quais caminhos são estáveis ou não. Assim, a SBA é uma ferramenta promissora para a avaliação de decisões de projetos tecnológicos e organizacionais em redes simbióticas.

O método para conciliar a teoria de SI, ciência do projeto e SBA e organizar esta tese de forma coerente foi retirado de Hubka e Eder (1995). Este apresenta um mapa com quatro quadrantes, a teoria de processos de projeto, representado pela ciência do projeto, a teoria dos sistemas técnicos, descrevendo a SI, o conhecimento do objeto de projeto, um sistema industrial (neste caso representado pela cidade de Dourados-MS), e o conhecimento do processo de projeto, com metodologias de projeto e de SI disponíveis na literatura.

Este caso contém um sistema industrial como objeto de projeto, onde se realizou a aplicação deste trabalho na cidade de Dourados-MS pela possibilidade de acesso à dados, pela visibilidade da cidade perante seu estado, sendo a segunda maior, e pela quantidade de agentes ser possível de análise.

No objeto de pesquisa analisado, o agronegócio possui uma alta relevância, onde as grandes e médias empresas pertencem ao setor agroindustrial, além da considerável produção agrícola e pecuária da região. Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin (2016), Simboli, Tadeo e Morgante (2015) e Ometto, Ramos e Lombardi (2007) atentam para uma potencial contribuição da SI neste setor de acordo com suas peculiaridades, considerando uma interação direta entre o processo produtivo da fazenda e o meio ambiente, a predominância da poluição como difusa, a relação estreita entre paisagens e plantações, e o alto volume de geração de resíduos.

Qualquer sistema que inclua participação humana conforme Martinelli et al (2012) estará relacionado a autoconsciência do homem com liberdade de escolha para selecionar ações, imerso em uma realidade social.

Esta pesquisa considerou no projeto da SI, portanto, alguns conceitos de contexto social inerente de cada agente, conforme o conceito de capacidade institucional de Spekkink (2015) e a influência do ambiente para mudanças ambientais no regime atual, em sistemas sócio-técnicos, como discutido por EEA (2017) e Geels (2002).

A literatura disponível na base de dados da CAPES não apresentou a utilização da SBA como meio para realizar o projeto da SI e analisar os possíveis cenários conforme características dos agentes, incluindo aspectos sociais que envolvem os agentes do sistema. Desta forma, mostra-se a originalidade da pesquisa.

Portanto, a ciência do projeto traz a facilitação e organização do projeto de forma eficiente e racionalmente construída, a SI desenvolve condições ambientais favoráveis e positivas e a SBA é a ferramenta que conclui a pesquisa, possibilitando a análise do sistema desejado e posterior validação das ações desempenhadas com a inclusão do fator social do sistema.

### **1.1. Problema de pesquisa**

Um sistema sem perspectivas ambientais acaba tomando constantes decisões que não levam em consideração a finitude de recursos e os custos de descarte. Além do problema individual, as empresas brasileiras precisam atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos, segundo a lei nº12.305 de 02 de Agosto de 2010 que visa justamente a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos. Portanto, a SI que traz redução de resíduos e aproveitamento eficiente e máximo destes, é uma solução plausível e aplicável neste caso.

Esta tese possui a oportunidade de pesquisa e contribuição em que a SI é um conceito importante para eficiência no uso de recursos e redução da poluição, suas características trazem diversos benefícios, como por exemplo, a redução da emissão de carbono, ganhos com resíduos, ganhos de energia e aumento de integração entre empresas de um sistema. Portanto, a SI é de fato uma forma coerente e eficaz para melhorar ambientalmente um sistema industrial (CHERTOW, 2000; CHERTOW; PARK, 2016; SIMBOLI; TADDEO; MORGANTE, 2014; GONELA; ZHANG, 2014; ALI; WANG; ALVARADO, 2019).

No Brasil pesquisas já retratam a aplicabilidade da SI no cenário brasileiro como Oliveira, França e Rangel (2018), Santos e Magrini (2018), Sellitto e Murakami (2018), Saraceni et al (2017), Veiga e Magrini (2009), Ometto, Ramos e Lombardi (2007) e Ceglia, Abreu e Da Silva Filho (2017). Os autores, em sua maioria, propõem a SI e retratam sua aplicabilidade e benefícios prováveis de serem conquistados no sistema proposto. Nota-se a lacuna de pesquisa com a relação entre a estruturação formal da SI, que leve em consideração limitações, necessidades e restrições do ambiente e a relação estreita dos agentes em seu desenvolvimento e estruturação, em conjunto com a utilização de um método que simule a interação dos agentes e os impactos do projeto e das decisões das ações ao longo do tempo, para validação ou análise das ações tomadas e esperadas.

O desenvolvimento da SI necessita de uma base estrutural, de organização claramente projetada e um planejamento conciso para que seu desempenho e evolução não sejam comprometidos quando ocorrerem eventos inesperados, ou quando os agentes discordem para a realização de ações e sinergias. Tal discordância pode estar muito influenciada pela economia e mercado, onde se causam desistências e quebras de contrato. As falhas de SI ocorrem justamente em contextos mal projetados e incertos (PARK; WON, 2007; CHERTOW; EHRENFELD, 2012; ZHANG et al, 2016).

Com isso, a SI precisa de um planejamento adequado e estruturação que contemplem diversas questões como os agentes, o sistema, as funções, as características do ambiente e o funcionamento global. Estruturação esta que pode ser encontrada na ciência do projeto (PUGH, 1990; EDER, 2011), mais precisamente nos modelos processuais (com recomendações de melhores práticas), conforme classificação de Wynn e Clarkson (2018), e pesquisas de Astuti e Astuti (2018) e Lange et al (2017).

A partir da SI e sua estruturação conforme a ciência do projeto, faz-se necessário entender como o sistema industrial se comportará a partir das decisões tomadas no momento presente, e como os agentes se comportam em cada cenário, o que pode ser analisado a partir da aplicação da SBA (ROMERO; RUIZ, 2014; BATTEN, 2009; MANTESE; AMARAL, 2018).

Na pesquisa realizada na base de dados da CAPES, com a interação do tema SI e SBA foram retornados cerca de 18 artigos com estes conceitos, discutidos no tópico 3.2.1. Nota-se que as pesquisas não consideraram o aspecto social na tomada de decisão conforme discutido por Branson (2016), Ceglia, De Abreu e Da Silva Filho (2017), Spekkink (2015), Boons e Spekkink (2012) e Ghali, Frayret e Ahabchane (2017), os quais

tratam de desejos, crenças, motivações e valores como influência nas decisões e estratégias de um sistema com SI.

A SI traz consigo algumas questões do contexto social que devem ser consideradas na SBA, como a capacidade institucional, os desejos e crenças dos agentes e a influência do estado, universidades, consumidores e redes financeiras em seu desenvolvimento. Uma troca simbiótica pode ser vantajosa, porém o agente pode escolher não a realizar por falta de confiança ou motivação (BOONS; SPEKKINK; JIAO, 2014; EEA, 2017; SPEKKINK, 2015).

Este trabalho traz a SBA como forma de analisar o desenvolvimento da SI, com medidas de acompanhamento e cenários para comparação e avaliação da estratégia presente. A SBA precisa considerar tanto o aspecto físico da SI (Chertow, 2000) quanto o contexto social (Spekkink, 2015). Portanto, esta tese tem sua contribuição no uso da SBA com aspectos sociais e físicos na estratégia para geração de cenários através da simulação.

Com relação ao objeto de pesquisa, devido a importância do agronegócio para o Brasil, este setor carece de mais estudos a fim de contribuir significativamente para o meio ambiente e não o degradar. Os impactos gerados envolvem o uso de terras, desmatamentos, poluições diversas e o uso de agrotóxicos por exemplo, questões complexas e polêmicas de serem abordadas, com isso o uso efetivo dos resíduos já traria ganhos ambientais, e contribuição ao sistema como um todo. Os artigos de Ometto, Ramos e Lombardi (2007) e Santos e Magrini (2018) e as dissertações de Santos (2013) e Lima (2017) tratam de empresas que estão no contexto do agronegócio, sendo três relacionadas à cana-de-açúcar e uma ao algodão, evidenciando a carência de mais estudos neste tema.

Diante deste contexto apresentado, esta pesquisa possui os seguintes questionamentos:

- a) Como a estrutura de projeto contribui para o desenvolvimento da SI em um sistema agroindustrial na cidade de Dourados-MS?**
- b) Qual a contribuição da SBA para a análise da SI em um sistema agroindustrial?**
- c) Qual a provável influência do contexto social no desenvolvimento da SI em um sistema agroindustrial e como considera-lo na SBA?**

Para responder à estas questões, esta pesquisa buscou realizar uma revisão bibliográfica sistemática sobre o sistema técnico desta pesquisa, a SI, para compreender

suas características, formas e estrutura de desenvolvimento. Outro ponto estudado foi a ciência do projeto, para entender sua contribuição neste caso e foi feito também uma pesquisa sobre a SBA, para analisar como esta opera e deve ser elaborada e quais os *softwares* mais usados quando aplicando a SI. Uma breve explicação sobre agronegócio é apresentada, sendo este o objeto de pesquisa, para também compreender o conhecimento do contexto (especificidades) e os agentes ao qual esta pesquisa se refere.

## **1.2. Objetivo**

De acordo com o contexto apresentado anteriormente esta tese possui o objetivo geral de analisar o desenvolvimento da SI por meio da SBA em um sistema agroindustrial na cidade de Dourados-MS considerando tanto as trocas de resíduos sólidos quanto os relacionamentos dos agentes.

A pesquisa deve ter conceitos integrados de SI e como estruturação ter apoio nas contribuições da ciência do projeto. O projeto do sistema simbiótico visa analisar o ambiente onde as empresas estão inseridas, bem como o contexto social, a fim de aumentar a eficiência na utilização de recursos e de resíduos das empresas membro e conseqüentemente, reduzir seus impactos ambientais negativos, como o descarte de rejeitos. Esta análise será realizada pela SBA, ferramenta a qual considera o comportamento dos agentes e a complexidade envolvida, onde é possível considerar além dos fluxos de materiais, os relacionamentos existentes e a influência dos agentes sociais.

### **1.2.1. Objetivos específicos**

Para a realização do objetivo geral, especificamente busca-se:

- a) Compreender as principais características e atividades da SI;
- b) Estruturar um fluxograma para desenvolvimento da SI a partir de seus modelos existentes e da ciência do projeto;
- c) Desenvolver um modelo computacional para aplicação da SBA ao caso;
- d) Realizar a análise e avaliação do modelo computacional por meio da SBA;
- e) Apresentar um roteiro para criação do modelo computacional para SI.

## **1.3. Justificativa**

A transformação de áreas industriais para maior sustentabilidade resulta de um objetivo estratégico para tratar crises econômicas e sustentáveis, tal transformação requer

metodologias e ferramentas para suportar e facilitar este processo (ROMERO; RUIZ, 2014). Metodologias estas que são representadas neste caso pela SI, para eliminar ou reduzir resíduos descartados ao meio ambiente.

A fim de prevenir ou minimizar as crises climáticas a longo prazo, segundo Huisingh et al (2015) e Perroni et al (2016) deve-se procurar eficiência de uso de energia melhorada em setores industriais, de construção ou agrícolas e a implementação generalizada de sistemas de baixa emissão de energia fóssil. Mostrando aqui a necessidade de um sistema simbiótico que busca a integração para redução de poluição e obtenção de um mundo mais saudável.

Um ponto importante para este tema, que enfatiza a necessidade de reutilização e aproveitamento eficiente de resíduos é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que deve ser realizada conforme a lei nº12.305 de 02 de Agosto de 2010 que visa a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos.

Neste cenário é essencial entender a diferença entre resíduos e rejeitos. A PNRS define bem os resíduos e os rejeitos dentro do contexto de gerenciamento de resíduos sólidos.

De acordo com o artigo três da PNRS (pg 11, 2010) rejeitos são:

“...resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;”

A definição conforme a PNRS (pg 11, 2010) de resíduos sólidos é dada por:

“XVI – resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;”

A PNRS (pgs 16 e 17, 2010) classifica ainda os resíduos de acordo com sua origem em domiciliares, limpeza urbana, sólidos urbanos, comerciais, saneamento básico, industriais, serviços de saúde, construção civil, agrossilvopastoris, serviços de transporte ou de mineração:

“I – quanto à origem: a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas; b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana; c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas a e b; d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas b,

e, g, h e j; e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea c; f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais; g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS; h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis; i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades; j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira; k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;”

A PNRS (pgs 16 e 17, 2010) classifica também os resíduos de acordo com sua periculosidade em dois principais, perigosos e não perigosos:

“II – quanto à periculosidade: a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica; b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea a.”

Conforme consta no artigo sexto da PNRS (2010) seus princípios são: visão sistêmica abordando questões ambientais, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública, o desenvolvimento sustentável, a eco-eficiência, com redução de impactos ambientais e do consumo de recursos naturais, a cooperação entre empresas, sociedade e estado, a responsabilidade compartilhada do ciclo de vida dos produtos e o reconhecimento do resíduo sólido como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

Os princípios da PNRS são alinhados ao discurso teórico da SI, considerando principalmente que ambas apontam benefícios não somente econômicos, mas também sociais e ambientais, na prática de gerenciamento de resíduos. Também apontam a essencial participação de diferentes setores da sociedade e com oportunidade de melhoria a partir da utilização de sistemas de informação.

Os objetivos da PNRS (2010) incluem no artigo sétimo:

“II – não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; III – estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; IV – adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; XIV – incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;”

Entre os destaques da legislação, seus princípios e objetivos deixam claro a lei brasileira sobre o pensamento em torno de prática de gerenciamento de resíduos sólidos. A institucionalização da visão sistêmica, do valor econômico do resíduo sólido e finalmente da cooperação entre diversos setores da economia.

No artigo nono a PNRS (2010) coloca a importância da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, onde comenta a ordem de prioridade para estas ações, começando as tratativas e planejamentos com a não geração de resíduos, posterior redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e, por fim, a disposição final e ambientalmente adequada dos rejeitos. Mostrando a importância da SI com a reutilização e não geração de rejeitos.

Um caminho para avaliar e atingir requerimentos ambientais na avaliação do projeto é a SI, que traz benefícios, como a redução de carbono e minimização do impacto financeiro com o aumento de valor da matéria-prima (OHNISHI et al, 2017), evidenciando a necessidade e oportunidade de projetar um sistema simbiótico em um sistema.

A SI opera como um instrumento de gestão ambiental para um desenvolvimento sustentável nos países onde ela é desenvolvida, sempre focando nas especificidades e características principais de cada território para o maior resultado e eficiência (CHERTOW; MIYATA, 2011). Como no Brasil o agronegócio possui um papel fundamental e abrange grande parte da extensão territorial, um sistema simbiótico agroindustrial traria benefícios expressivos para o país na questão sustentável, reduzindo os impactos ambientais deste setor específico.

Ometto, Ramos e Lombardi (2007) explicam em sua pesquisa a importância e os benefícios de um sistema simbiótico no agronegócio para o Brasil. Um sistema simbiótico aplicado à agroindústria pode trazer empregos de qualidade, benefícios ambientais e sociais, soluções técnicas para um desenvolvimento sustentável, empregos rurais e novas fontes de energia. Neste sentido o projeto desempenha um papel extremamente importante na construção e compreensão dos recursos e meios necessários ao correto funcionamento deste tipo de sistema em um dado ambiente e contexto.

Costa Junior, Diehl e Secomandi (2018) dizem que um sistema com SI tem características ligadas ao conceito de sistemas complexos, e abordagens de projetos de sistemas com pensamento sistêmico obtêm maior sucesso nestes casos. Por isso, a SBA, por considerar conceitos de complexidade e tomada de decisão dos agentes, possibilita a validação do projeto de SI e sua construção focada não apenas no curto prazo, mas

também no médio e longo. As ações e decisões a serem tomadas podem ser previstas no modelo com esta ferramenta, tornando o desempenho e evolução da SI mais fácil e organizado (BATTEN, 2009; ROMERO; RUIZ, 2014; DEMARTINE; TONELLI; BERTANI, 2019).

#### **1.4. Introdução à metodologia de pesquisa**

Para responder às questões de pesquisa foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática (RBS) sobre SI (APÊNCIDE A), nos moldes segundo Conforto, Amaral e Silva (2011), a qual é considerada uma avaliação rigorosa e confiável de pesquisas dentro de um tema, onde funciona como um instrumento para mapear e gerar uma síntese dos trabalhos publicados. Segundo Fleury (2010), esse procedimento dá forma ao pensamento, estabelece sistemas de significados e cria padrões familiares que permitem a manipulação e trabalho.

Os temas pesquisados além da SI foram a ciência do projeto e sua forma de estruturação e principais conceitos importantes, a ferramenta SBA para modelagem e simulação do caso e por fim as principais características do agronegócio, a especificidade do caso de análise e projeto.

As pesquisas foram realizadas na base de dados da SCOPUS, por sua relevância e quantidade de artigos, e na base de dados da CAPES, a qual apresenta todos os artigos adquiridos pela organização nas outras bases de dados, como *Web of Knowledge* ou *Emerald*.

A partir dos conceitos identificados na literatura, para atingir o objetivo deste trabalho foi utilizada a abordagem de pesquisa quantitativa que para Martins (2012) aborda alguns pontos importantes, como a definição de um conjunto de variáveis, o relacionamento de causalidade entre elas, a generalização dos dados obtidos e a replicação em outros modelos. Esta abordagem, portanto, possibilitará estruturar o sistema agroindustrial com SI, utilizando a SBA.

Dentro da abordagem descrita, a modelagem e simulação se apresenta como o melhor método de pesquisa. O qual apresenta modelos matemáticos e computacionais que utilizam técnicas analíticas (como a simulação) para calcular cenários e analisar resultados de diferentes ações realizadas (BERTRAND; FRANSOO, 2002).

Salienta-se que esta pesquisa utiliza de dados quantitativos com a mensuração das variáveis do modelo e de dados qualitativos para validação do modelo com pesquisadores e coleta de informações de forma aberta com os operadores presentes nas visitas a campo.

O caso analisado situa-se na cidade de Dourados-MS, devido a sua característica principal de possuir empresas majoritariamente do setor agroindustrial (IBGE, 2018). A coleta de dados foi realizada através de contato por *e-mail*, ligação telefônica ou conversa presencial.

Por fim, o *software* utilizado para a aplicação da SBA foi o Netlogo, por ser mais usado e aceito na literatura pesquisada (ZHU; RUTH, 2014; LANGE et al, 2017; MANTESE; AMARAL, 2018).

### **1.5. Delimitação do escopo**

Para a realização desta pesquisa optou-se por limitar o caso às indústrias situadas na cidade de Dourados, não expandindo para as empresas da região. O motivo é tal que o modelo ficaria cada vez maior, assim como a demanda de dados, visitas, análises e simulações, onde a complexidade tornaria a pesquisa inviável para apenas um pesquisador. Portanto, o modelo apresentado para a cidade pode ser aumentado e incorporado para contemplar regiões maiores em pesquisas futuras.

### **1.6. Conclusão do capítulo**

Este capítulo estabeleceu fundações sobre esta tese. Foi apresentada a importância de projetar um sistema com aspectos sustentáveis e como a SI possibilita a melhoria das condições ambientais do ambiente de estudo. Além de melhorar um sistema, a pesquisa atenta-se ao setor agroindustrial, contexto importante para o cenário nacional e de impacto direto ao meio ambiente.

Este trabalho visa analisar o desenvolvimento da SI por meio da SBA em um sistema agroindustrial na cidade de Dourados-MS considerando tanto as trocas de resíduos sólidos quanto os relacionamentos dos agentes.

O método de pesquisa para atingir tal objetivo é a modelagem e simulação, onde são colocadas todas as variáveis pertinentes do estudo e suas relações.

## Capítulo 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Como referência para este trabalho, necessita-se discutir os conceitos de SI, objeto de pesquisa, a ciência do projeto que permeia e possibilita desenvolver o objeto SI em um sistema industrial, e o sistema em si, e sua complexidade e adaptabilidade.

Este capítulo está estruturado conforme a categorização proposta por Hubka e Eder (1995) na ciência do projeto, a qual será explicada no tópico 2.1, e que contém quatro quadrantes principais, sendo o estudo da teoria do processo de projeto, a teoria dos sistemas técnicos, o conhecimento de projeto sobre o objeto e a metodologia de projeto.

Estas categorias são descritas neste trabalho, conforme o tema proposto, como estudo da ciência do projeto e suas prerrogativas e características, seguido pelo estudo do sistema técnico que neste caso é a SI, para entender seu desenvolvimento e especificidades. O quadrante seguinte trata das metodologias de projeto para desenvolver a SI existentes na literatura e, por fim, tem-se o conhecimento para projeto do objeto em si, que neste saco permeia o agronegócio no caso mencionado.

### 2.1. A ciência do projeto como teoria dos processos de projeto

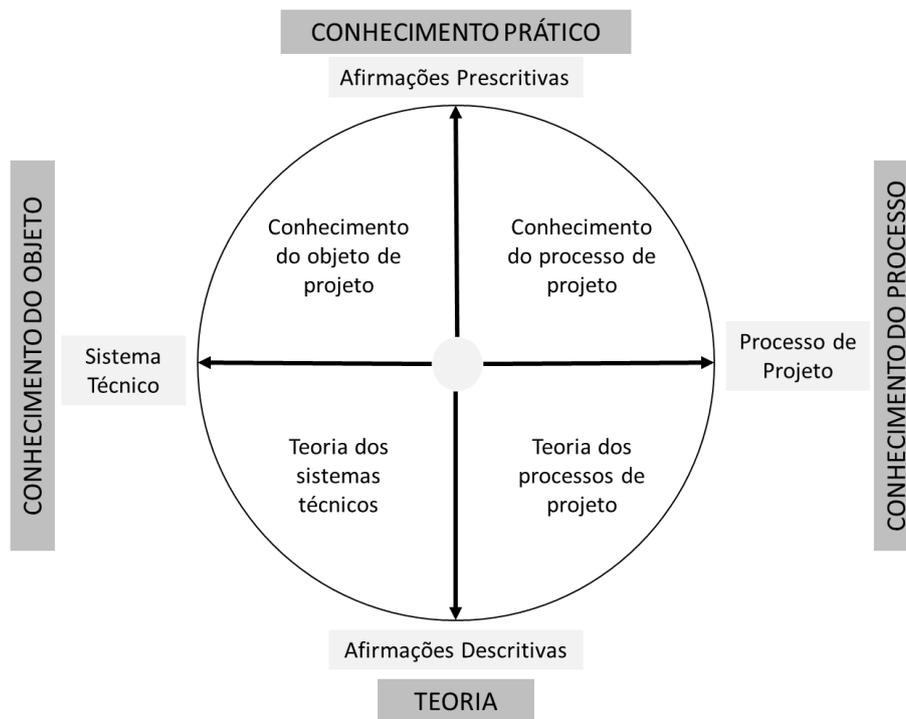
Este tópico tem como finalidade trazer os conceitos que servem de base para o projeto de SI, e assim compreender a ciência do projeto, seus modelos e características. Foram levantadas algumas referências base que são citadas exaustivamente em pesquisas seguintes, no que tange a melhoria de uma situação real. Cada estudo estrutura suas fases nestes modelos gerais e abrangentes, conforme a necessidade apresentada em cada caso e suas especificidades.

A partir da estrutura fundamental Hubka e Schregenberger (1988) *apud* Hubka e Eder (1995) propõem um mapa com as afirmações contidas na ciência do projeto, onde se divide o conhecimento baseado em proposições descritivas, relacionadas com aquilo que é o objeto, e as proposições prescritivas, relacionadas com aquilo que o objeto deveria ser.

Tal mapa, mostrado na Figura 1, induz à compreensão de que a ciência do projeto integra o conhecimento baseado em proposições descritivas (quadrantes inferiores), tanto do sistema técnico quanto do ato de projetar, assim como o conhecimento baseado em proposições prescritivas (quadrantes superiores) de ambos os ramos. Da mesma forma, os quadrantes do lado esquerdo estão relacionados com as proposições sobre o sistema técnico (definindo a capacidade de ação projetual) e os quadrantes situados ao lado direito

estão relacionados com as proposições sobre o processo de projeto (HUBKA; EDER, 1995).

Figura 1 - Principais categorias da ciência de projeto



Fonte: Hubka e Eder (1995).

Segue a explicação breve de cada quadrante por Hubka e Eder (1995):

- a) As afirmações descritivas sobre sistemas técnicos: descreve, explica, estabelece a estrutura, seus elementos, propriedades e funções;
- b) As afirmações prescritivas sobre sistemas técnicos: contém o “saber-fazer” em relação as formas de satisfazer (realizar) as funções requeridas;
- c) As afirmações descritivas sobre o processo de projeto: descreve, explica, estabelece os elementos, propriedades e efeitos do projeto efetivamente observado e dos processos em seu contexto sócio-técnico;
- d) As afirmações prescritivas sobre o processo de projeto: contém indicações sobre todos os operadores do processo de projeto. Mostra formas (métodos, procedimentos) para desempenho bem-sucedido e gestão do processo de projeto na indústria.

Primeiramente tem-se a teoria que embasa o projeto, sendo aquela relacionada ao sistema técnico de pesquisa e aquela relacionada ao próprio processo de projeto. As duas etapas seguintes do mapa partem para o conhecimento de campo, saindo da teoria para a prática e do descritivo para o prescritivo, caracterizando a situação de projeto. No

conhecimento sobre o objeto de projeto, busca-se todos os conhecimentos envolvidos, em todas as áreas da ciência e as atividades do projeto na situação específica, considerando as aplicações de projeto mais favoráveis. Na última parte tem-se a contribuição desta situação de projeto para a teoria, onde o método utilizado consegue de forma concreta descrever como funciona o projeto para este objeto em tal situação (HUBKA; EDER, 1995).

Deve-se ressaltar que os quadrantes são interativos, onde a teoria do processo de projeto considera a teoria do sistema técnico e ambas através do conhecimento do processo de projeto analisam o objeto de projeto. A teoria influencia o método de projeto, que estrutura o objeto em questão.

#### 2.1.1. Projeto e sua ciência

Projetar conforme Hubka e Eder (1995) consiste em pensar além e descrever uma estrutura, transportando as características desejadas, ou seja, é a transformação da informação da condição das necessidades, demandas, requisitos e restrições, incluindo as funções demandadas, dentro de uma estrutura capaz de satisfazer estas informações. As demandas devem incluir os desejos dos clientes, e também todos os estágios, inclusive os intermediários que o produto deve passar, e os requisitos do ciclo de vida.

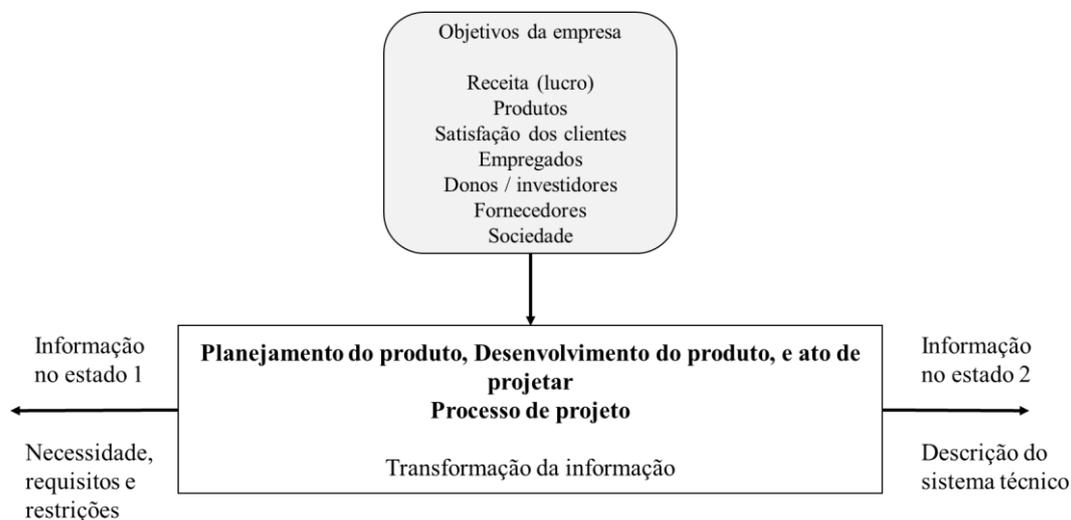
Projeto, de acordo com Pahl e Beitz (1995), é uma atividade de engenharia que afeta todas as áreas da vida humana, usa as leis e ideias da ciência, constrói experiência especial e provém os pré-requisitos para a realização física da solução de ideias.

Elementos necessários ao processo de projeto para Hubka e Eder (1995) são: resolução de problemas; tomada de decisão; aplicação de ciência; criatividade e imaginação; pesquisa heurística; aprendizagem; evolução; padrões adequados; lidar com pessoas; trabalho em grupo; coleta e processamento de dados; negociação; satisfação; otimização; transferência e transformação de conhecimento; desenho e cálculo; direcionamento, liderança e organização; análise de custos e lucro; satisfação das necessidades; e conduta ética e profissional. Ressalta-se a importância de que estes elementos não são suficientes se forem considerados de forma isolada.

Existe a dimensão social do projeto que ocorre quando há a satisfação das necessidades humanas, em que os projetistas partem de uma situação obscura, criam e decidem sobre o processo de transformação para implementação e solução de uma demanda social (HUBKA; EDER, 1995).

A Figura 02 apresenta a amplitude do ato de projetar, e mostra a interação com o desenvolvimento do produto, o processo do projeto como o todo e as entradas e saídas do ato de projetar conforme Hubka e Eder (1995).

Figura 2 - Amplitude do ato de projetar

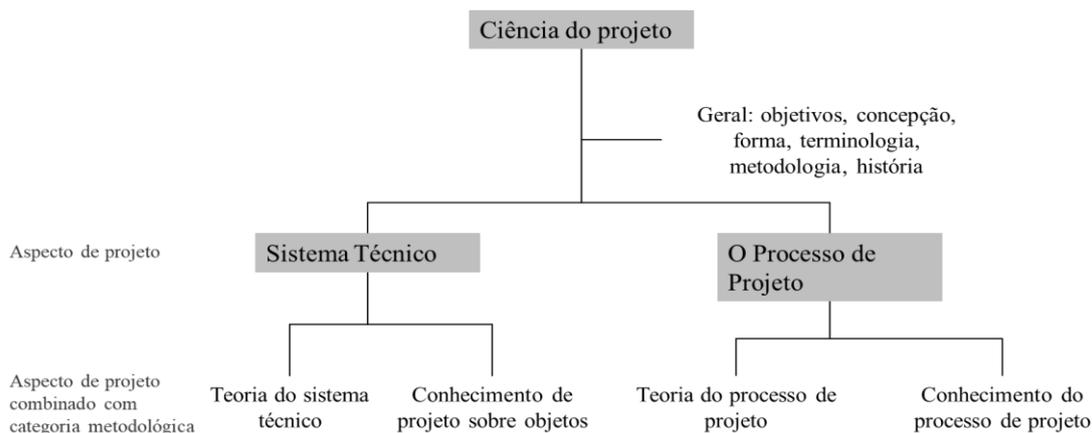


Fonte: Hubka e Eder (1995).

Para Hubka e Eder (1995) a ciência do projeto é formada pela intersecção de duas grandes áreas da teoria dos sistemas técnicos, o conhecimento sobre o ato de projetar e a ciência de engenharia e manufatura. Ela é definida como “um sistema de conhecimento logicamente relacionado, que deve conter e organizar o conhecimento completo sobre e para o ato de projetar” (HUBKA; EDER, 1995, pg. 8).

A estrutura fundamental da ciência do projeto segundo Hubka e Eder (1995) é formada por quatro classes fundamentais de conhecimento. Primeiro a natureza do objeto é formada por dois elementos, o conhecimento sobre o processo de projeto e seus operadores e o conhecimento sobre os objetos projetados (processo e sistema real). Cada um destes é dividido conforme a classe metodológica em descritivo (teoria) e conhecimento prescritivo. A Figura 3 mostra a característica do objeto com o sistema técnico e o processo de projeto e depois suas divisões em aspectos teóricos e conhecimento do projeto e do processo de projeto.

Figura 3 -Sub-regiões da ciência do projeto



Fonte: Hubka e Eder (1995).

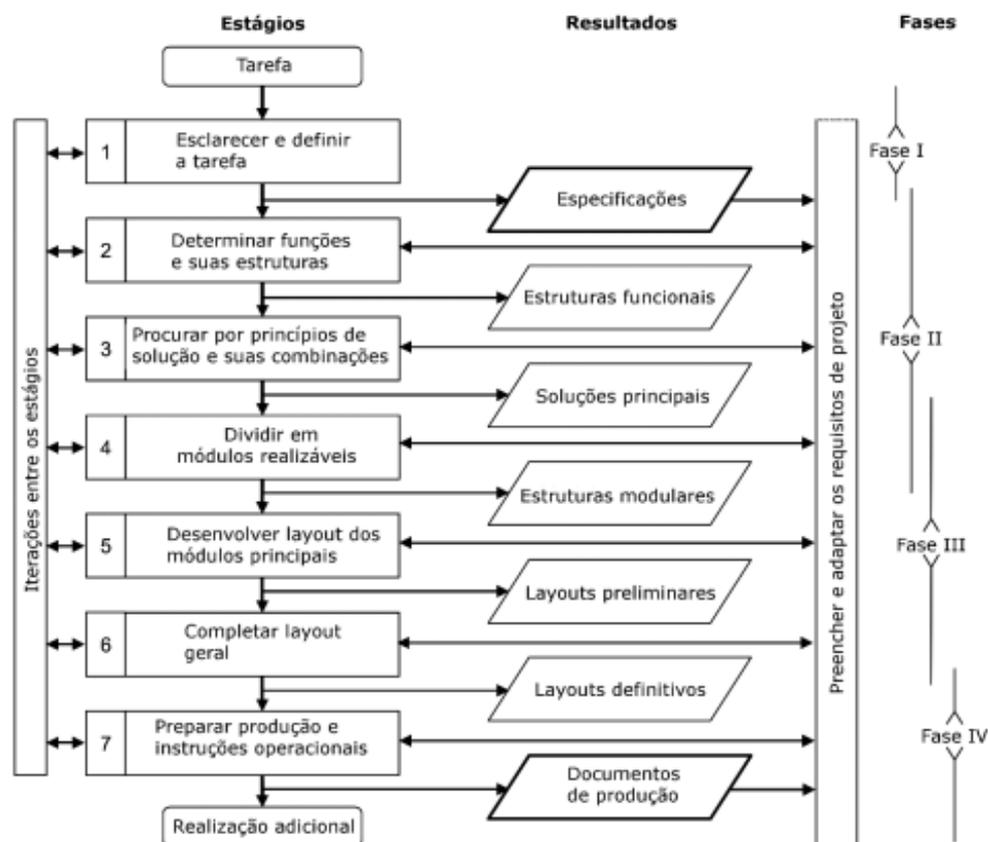
Hubka e Eder (1995) trazem também na ciência do projeto, a relação entre método, teoria e objeto, sendo estes conectados como um triângulo, onde a teoria deve descrever e prover uma fundação para o comportamento do objeto e dos métodos utilizados. O método deve ser adaptado para o objeto, e os três devem ocorrer ao mesmo tempo e com mesmo *status*. Quando o comportamento do objeto não é completamente conhecido, e a teoria não explica perfeitamente, os métodos podem lidar com as situações do momento e tentar explicar os comportamentos.

### 2.1.2. Metodologias de projeto

A associação de engenheiros alemães, também conhecida como VDI (sigla em alemão: Verein Deutscher Ingenieure), desde da década de 70, elabora metodologias de projeto que contribuiram para o desenvolvimento da área, atuando principalmente no desenvolvimento de produtos mecânicos e foram utilizados como referência por muitas empresas e engenheiros (JANSCH; BIRKHOFOR, 2006).

A Diretriz VDI 2221 propõe uma abordagem genérica ao projeto de sistemas e produtos técnicos, enfatizando a aplicabilidade geral da abordagem nas áreas de mecânica, precisão, controle, *software* e processo. A abordagem (veja a Figura 4) inclui sete etapas básicas de trabalho que estão de acordo com os fundamentos dos sistemas técnicos e a estratégia da empresa, com uma natureza interativa entre as etapas da abordagem.

Figura 4 - Etapas do modelo de VDI



Fonte: Jansh e Birkhofer (2006).

Outro modelo importante para projeto é o de Pahl e Beitz (1995), os quais dividem o processo de projeto em quatro categorias: planejamento do produto e esclarecendo a tarefa, projeto conceitual, projeto de encarnação e projeto detalhado.

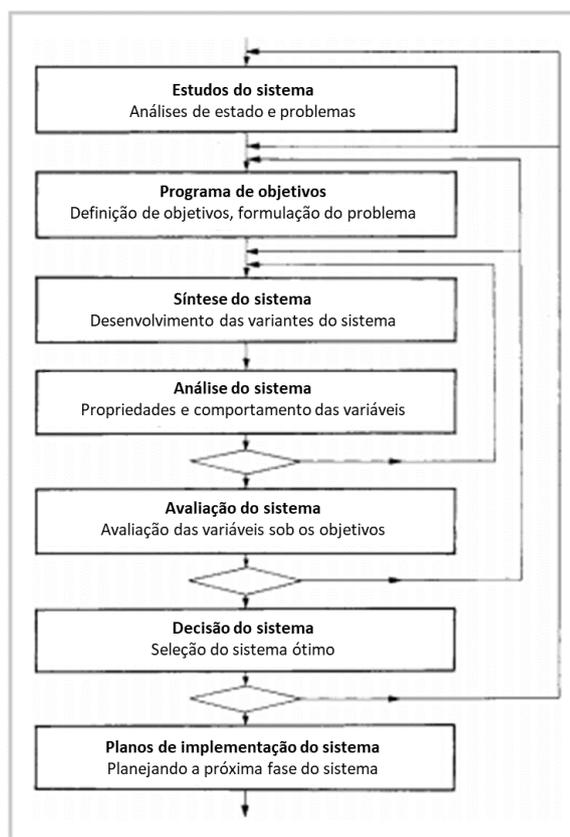
Antes de apresentar a abordagem sistêmica, Pahl e Beitz (1995) definem sistema como um conjunto de elementos ordenados, inter-relacionados pela virtude de suas propriedades (subsistemas) e também que este é caracterizado pelo fato de ter um limite que atravessa seus vínculos com o meio ambiente, sendo que estes vínculos definem o comportamento externo do sistema.

Os passos para uma abordagem sistêmica de acordo com Pahl e Beitz (1996) são: em primeiro tem-se a coleta de informação sobre o sistema através de análise de mercado, estudos de tendência ou tarefas específicas, obtendo a análise do problema, o foco principal nesta etapa é a formulação clara do problema, que é o início real para o desenvolvimento do sistema. Segundo tem-se a formulação do problema e suas restrições, o estabelecimento das funções da estrutura requerida e dos critérios econômicos e técnicos e estabelecimento de objetivos. Em terceiro a síntese do sistema com desenvolvimento de variantes de solução, o layout preliminar e sua estrutura, em quarto

a análise do sistema com propriedades e comportamento das variantes para eliminar erros e pontos fracos. Quinto passo é a avaliação do sistema, suas variantes e a relação com os objetivos, em sexto a decisão pela melhor variante e por fim, a implementação dos planos.

Como mostra a Figura 5, as etapas nem sempre levam diretamente ao objetivo final, de modo que procedimentos iterativos podem ser necessários. Etapas de decisão incorporadas para facilitar este processo de otimização, que faz uma transformação de informações (PAHL; BEITZ,1996).

Figura 5 - Etapas de design de Pahl e Beitz (1996)



Fonte: Pahl e Beitz (1996).

Pugh (1991) traz a ideia de projeto total como uma atividade de negócio ampla onde especialistas de diversas áreas colaboram na investigação do mercado, na seleção do projeto, na concepção e manufatura deste e no suporte. Considerando também que o relacionamento entre organização e o ambiente afeta o desenvolvimento do sistema objeto de projeto, suas regulações, operações e manutenção.

No modelo de pugh (1991), seu desenvolvimento percorre níveis distintos de detalhamento, parte-se de uma especificação geral, agregam-se conceitos a essas especificações, aprofunda-se no projeto de sistemas e seus componentes. O autor traz

também a relação entre organização, pessoas participantes do projeto e o resultado do projeto.

Como o projeto é uma tomada de decisão coletiva, Pugh (1991) propõe 4 passos para considerar sua influência no projeto para engenharia. Passo um é produzir um modelo de estágios para a tomada de decisão, basicamente, identificação, desenvolvimento, seleção e implementação. No passo 2 cabe identificar se diferentes translações são necessárias para diferentes contextos, com diferentes estágios ou em ordens trocadas. O passo 3 considera que as propriedades são transmitidas na gestão do projeto. Por fim, o passo 4 considera interessante relacionar o modelo com um mais tradicional da literatura.

Menegon e Andrade (1998) discutem três elementos importantes no processo de projeto e produção de novos produtos. A atividade, sendo o “saber fazer” das empresas com a cultura de desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos. A gestão, com integração das funções gerenciais e produtivas, com padronização, aprendizado contínuo e trabalho criativo. E a estratégia, que envolve competitividade e esforço para o caminho e mercado que a empresa opta por seguir:

- a) Nas atividades de Projeto do Produto existem alguns aspectos intangíveis, com comportamentos imprevisíveis, o que reforça a importância de uma cultura de projeto para desenvolvimento de produto. O saber fazer é fundamental para a afirmação de cultura nas empresas, por isso os autores atentam para a atividade;
- b) O ambiente exige também sistemas produtivos flexíveis com alto grau de integração das funções gerenciais e produtivas. Ao mesmo tempo que se acumulam tendências no sentido de normalização e padronização de produtos e processos, intensificam-se tendências de aprendizado contínuo e trabalho criativo, atentando, portanto, para a gestão;
- c) Para satisfazer a competitividade, as tendências de mercado apontam para a necessidade de empresas focadas em competências específicas, reduzirem o esforço sobre ou mesmo abandonarem áreas de competências não estratégicas, trazendo o aspecto de estratégia;

O modelo do “*Total Design*” de Pugh (1991), apresenta os três campos assinalados por Menegon e Andrade (1998) e requer o entendimento de restrições presentes no contexto interno e externo para atender as necessidades do mercado e lidar com flexibilidade para adaptação por todo o processo de projeto. Alguns pontos influenciam

diretamente o processo, como a troca intensa de informação entre diversas partes e conhecimentos, técnicas e gestão para integração das ideias no ponto central que é o resultado pretendido.

A parte mais externa do *template* representa as diversas áreas funcionais da empresa, como finanças, vendas, compras e produção. Elas se relacionam de uma forma mais intensa com o ambiente. São elas que estabelecem restrições estratégicas ao projeto, e para cada uma delas Pugh (1991) coloca quatro pontos importantes para o projeto que devem ser discutidos em cada função, sendo pessoas, capital, materiais e máquinas. O círculo intermediário representa o conjunto das especificações.

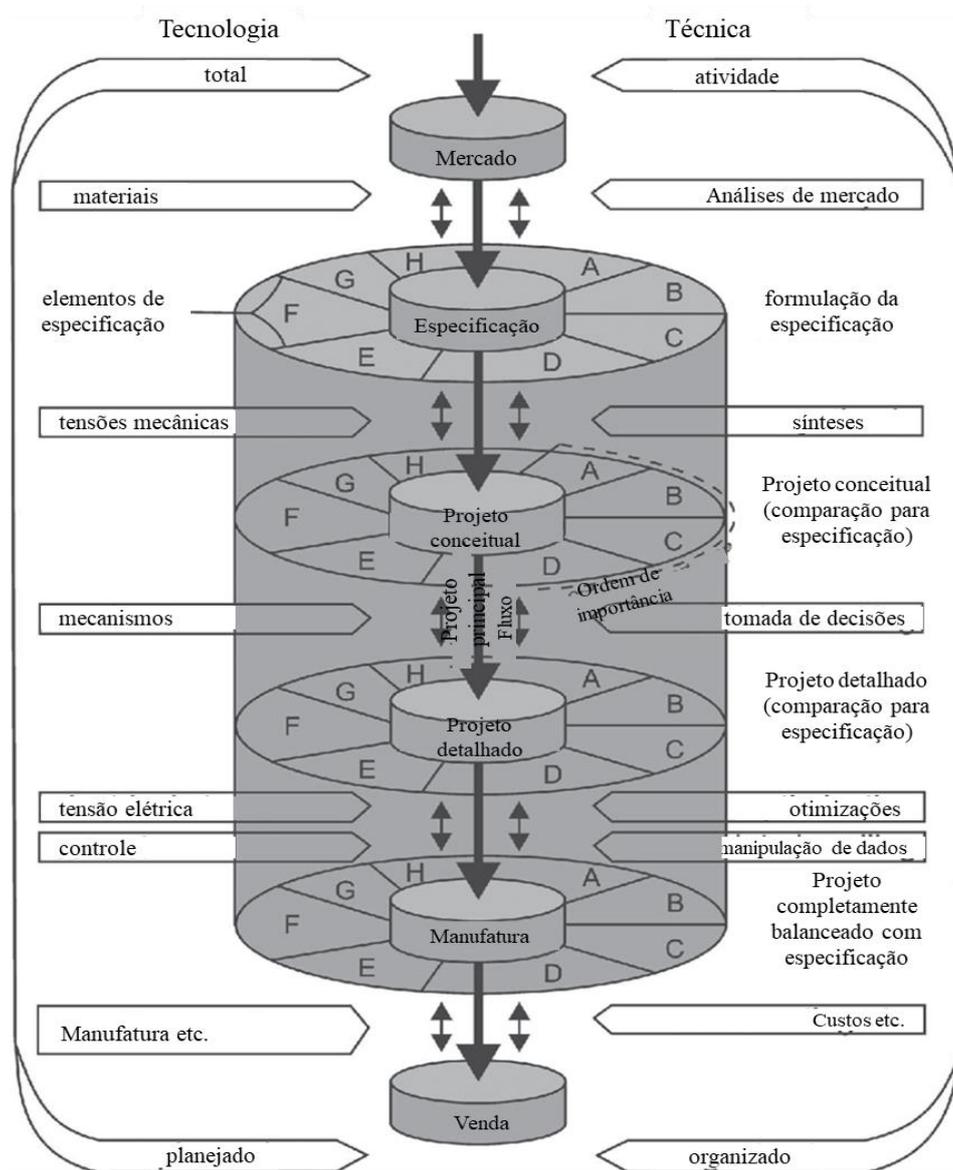
Na região central do *template* estão representadas as atividades que compõem o núcleo do projeto. São colocadas: mercado; especificações; conceito; *design*; manufatura; e vendas. O processo é interativo e considerado dinâmico pelo autor, envolvendo idas e vindas até que um produto de sucesso seja obtido conforme apresentado na Figura 6.

### 2.1.3. Projeto como um processo social

Bucciarelli (2003) traz uma visão sobre o aspecto do envolvimento das pessoas no processo de projeto, onde para o autor, o projeto em engenharia é um processo social com a participação de diversas pessoas com diferentes competências, responsabilidades e interesses. Cada participante enxerga o objeto de forma diferente, de acordo com suas competências e responsabilidades. Cada indivíduo possui, portanto, um mundo-objeto com representações, heurísticas e normas específicas. Com isso, nenhum envolvido no projeto consegue ter um entendimento global de todas as situações.

Projeto envolve, portanto, grupos de pessoas com diferentes responsabilidades e funções que para serem efetivos devem discutir, deliberar e negociar se suas propostas e afirmações devem ser consideradas e se fazem sentido. Em algum nível os participantes negociarão as contribuições para um objetivo comum e compartilhado, porém em outro nível haverá competição para satisfazer requisitos individuais. Há no projeto formas intrínsecas aos participantes, quando cada um possui crenças, cultura, dúvidas, conhecimentos e interpretações ímpares sobre o projeto, baseado em seu próprio mundo (BUCCIARELLI, 2003).

Figura 6 - Modelo de Pugh (1991)



Fonte: Pugh (1991).

Cada mundo-objeto para Bucciarelli (2002) contém habilidades, responsabilidades e competência específicas daquele mundo, como um engenheiro ou um programador. Este possui ferramentas particulares, *softwares*, regras, normas, textos bases privados com perspectivas metafóricas reservadas que iluminam e animam os habitantes daquele mundo. Como forma de comunicação é utilizado a língua, e assim como no globo, cada mundo-objeto possui sua própria língua, com gírias, modelos, variáveis, códigos, *Know-How* e conceitos relativos aquela questão de estudo, trabalho e pesquisa. Cabem aos envolvidos se comunicarem através de representações para melhor transmitir suas contribuições.

O projeto conforme Bucciarelli (2002, 2003) é objeto e técnica dentro de uma cultura e não externo a ela, transcende a ciência e sua lógica, ao poder político, as infraestruturas e aos mercados globais.

Ainda segundo Bucciarelli (2002, 2003) projeção é um processo dinâmico, realizado em fases discretas, com constante controle das atividades através de interação entre elas e *feedback*. Há a possibilidade de pular etapas ou voltar em etapas anteriores conforme o ambiente e o objeto. O autor defende que a representação de projeto não mostre a escala de tempo de forma a não influenciar a linearidade da projeção.

## **2.2. A simbiose industrial como teoria do sistema técnico**

### **2.2.1. Economia Circular e Ecologia Industrial: conceitos norteadores da SI**

Como ponto de partida aos conceitos, este trabalho inicia-se com a noção de um sistema sustentável, no que tange a forma geral de sua definição.

Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, garantindo o atendimento e suporte das necessidades das gerações futuras, ou seja, sem esgotar recursos naturais. Essa definição surgiu na comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento, e atenta para a conscientização para conservação da natureza e bem-estar coletivo da sociedade (WORLD WILDLIFE FUND – BRASIL, 2017).

Dentro do contexto de sustentabilidade, o reaproveitamento de resíduos e sua utilização eficiente até o máximo possível é um ponto central no envolvimento das indústrias neste cenário mais limpo. Um modelo de negócio para criar valor a partir de resíduos deve focar na proposição de valor a partir dos “desperdícios” para uso em outras atividades, na captura de valor quando reduz a emissão de poluição e descarte ao ambiente e no aproveitamento máximo dos recursos, em uma ideia de cadeia circular (SHORT et al, 2014).

O sistema circular de compartilhamento de valores é capaz de articular recursos, processos e fluxos para criar e distribuir riqueza, alavancar o desenvolvimento social e recuperar um ambiente exaurido, tudo sob uma estrutura econômica viável e competitiva (SCHEEL, 2016). Assim, esse sistema é capaz de fornecer as condições necessárias para a montagem de um sistema sustentável de capitais de grande impacto nas atividades sociais, ambientais e econômicas.

Na vasta teoria sobre sistemas sustentáveis, encontra-se um conceito importante sobre a circularidade e aproveitamento de resíduos e recursos, que ganha cada vez mais espaço na economia global, a EC. E também um conceito de reaproveitamento de resíduos e compartilhamento de recursos como ocorre na natureza, a EI.

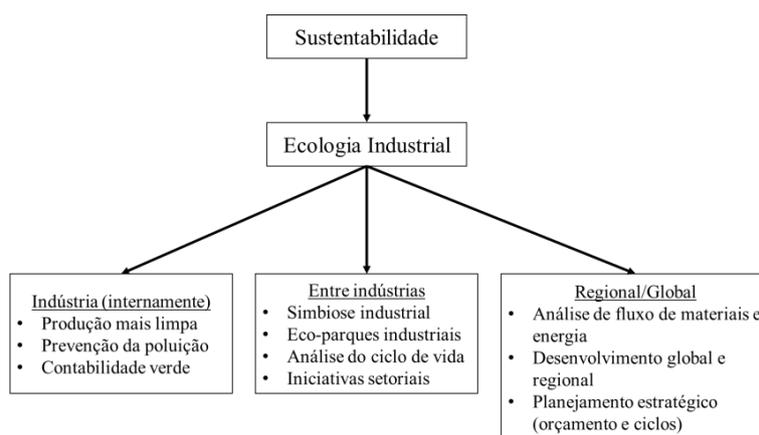
Para Allenby (2000), EI é o estudo de sistemas industriais e econômicos e suas conexões com sistemas naturais fundamentais. Esta apresenta uma visão sistêmica, abordando a interação entre operações de sistemas humanos e ambientais, buscando um desenvolvimento sustentável. Chertow (2004) complementa que ela estuda o fluxo de materiais e energia e seus efeitos no ambiente, e a influência de aspectos econômicos, políticos, regulatórios e sociais no fluxo, uso e transformação de recursos.

Algumas características são essenciais, Pereira, Lima e Rutkowski (2007) comentam que a EI busca alterar os processos lineares de produção para processos cíclicos, ter visão sistêmica, reorientação do processo industrial, estudo do fluxo e eficiência produtiva.

O sistema industrial deve ser similar ao natural e tornar-se fechado, aproveitando os resíduos e energias. Os principais objetivos são: reduzir emissões e desperdícios; aumentar a eficiência dos recursos; Fechamento dos ciclos dos materiais; aumentar o uso de materiais e energia renováveis (O'ROURKE; CONNELLY; KOSHLAND, 1996)

De acordo com Chertow (2000) a EI permite atribuir o foco em três níveis, na indústria, entre empresas e regional ou global, o que está ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Os três níveis da Ecologia Industrial



Fonte: Traduzido de Chertow (2000).

Para tal, Chertow (2000) e Lowe (2001) sugerem que alguns instrumentos sejam utilizados para que seja possível o desenvolvimento da Ecologia Industrial, dentre os quais se destacam como fundamentais, quando envolvem empresas, são a SI e Eco Parque

Industrial (EPI) pois segundo Felicio (2013) integram harmonicamente a visão de ciclo fechado num ecossistema industrial.

Para esta pesquisa, como o foco está situado entre indústrias, de acordo com Chertow (2000) as melhores práticas de EI são a SI e o EPI. O primeiro é possível de ser aplicado, porém o segundo necessita de um parque industrial e mudanças na localização das empresas, o que o torna mais complexo e custoso de ser realizado, principalmente no setor agroindustrial. Setor no qual a agropecuária (em grandes volumes) não são passíveis de serem colocadas em um parque juntamente com as agroindústrias.

O segundo conceito que engloba a SI é a EC que tem sido difundido pela Ellen MacArthur Foundation como “um sistema industrial restaurativo ou regenerativo pela intenção e pelo *design*” (MACARTHUR, 2015) e orientado por quatro princípios conforme Homrich et al (2018):

- a) O desperdício é igual comida; significando que os laços restaurativos são a ideia central;
- b) Construindo resiliência através da diversidade;
- c) Criando energia a partir de recursos renováveis;
- d) Pensando em sistemas. Para entender o conceito de malha fechada, um diagrama de borboleta ilustra as duas asas de borboleta: a direita é a técnica e a esquerda a curva fechada biológica.

Homrich et al (2018) comprova a ligação existente na literatura da EC (mais ampla) com outros conceitos tais como, a SI, EI, biomimética, leis da ecologia, economia de performance, economia azul, projeto regenerativo, permacultura, capitalismo natural e metabolismo industrial.

EC é em um ciclo positivo contínuo de desenvolvimento em que o capital natural é conservado e aprimorado, minimizando o risco sistêmico ao gerenciar estoques finitos e fluxos renováveis (MACARTHUR, 2015).

A EC promove fluxos circulares para reduzir os impactos ambientais, maximizando a eficiência dos recursos, e tornou-se mais popular entre as empresas e os decisores políticos (MOREAU et al., 2017). Este tema e suas implicações ainda precisam ser exploradas e discutidas, até mesmo a base central em relação a conceitos, elementos e ferramentas e sua relação com a EI (SAAVEDRA et al, 2018).

A EC é baseada em sete princípios simples que são apresentados por Sacirovic, Ketin e Vignjevic (2018): Projetar os resíduos dos produtos, construir flexibilidade, usar fontes de energias renováveis, desenvolvimento com aspectos sociais e apoiada no

ecossistema, obter valor dos recursos, entender as relações entre os elementos no contexto ambiente e sociedade e pensar em camadas com a utilização de componentes do produto.

A EC pode ser explicada de acordo com seus oito elementos constituintes principais: um processo de ciclo fechado para o ciclo de vida dos ambientes construídos; redes de atores; recursos e instrumentos como elementos chave do sistema urbano; sinergias entre esses elementos-chave; estratégias para identificar e gerenciar sinergias; e, em seu núcleo, os resultados desejados de um ambiente construído com recursos eficientes (NESS; XING, 2017).

O conceito de EC deve incluir duas abordagens básicas de desenvolvimento sustentável (EI e produção mais limpa) e sua aplicação para o desenvolvimento ecoindustrial para atingir o objetivo de criar uma economia circular na região (Sacirovic, Ketin e Vignjevic, 2018).

A transição do sistema atual para o de Economia Circular requer uma mudança fundamental na forma de atender à demanda da sociedade. Considera-se o fato importante de transformar um consumo linear de produção para uma cadeia circular, onde reaproveitam-se todos os recursos de forma eficiente (EEA, 2017).

Os problemas ambientais trazem desafios sistemáticos, pois ao mesmo tempo que a humanidade necessita de satisfação de suas necessidades, o fardo está na geração de resíduos e poluição. Qualquer modificação neste sistema atual requer mudanças de paradigma, com análise de sistemas sócio-técnicos através da abordagem da perspectiva multi-nível (EEA, 2017).

Dois aspectos gerais dos sistemas sócio-técnicos são relevantes para a circularidade do produto: (1) os principais mecanismos por trás do sistema atual são o resultado da evolução histórica de um conjunto complexo de relações entre produtores, consumidores e formuladores de políticas; e (2) o equilíbrio de um sistema é dinâmico, o que implica que ele é constantemente submetido a mudanças internas e externas que podem empurrá-lo para dentro ou para longe da melhoria da circularidade do produto (EEA, 2017).

Um sistema sócio-técnico para atingir as necessidades humanas possui um regime predominante de governança, o qual é desafiado por abordagens inovativas dos nichos e regido por um contexto de ambiente dinâmico, conforme Figura 8 (EEA, 2017). Um ambiente que representa a estrutura profunda e formada da sociedade, como cidades e fábricas, o regime representa a forma como o ambiente é gerido, caracterizado como mais

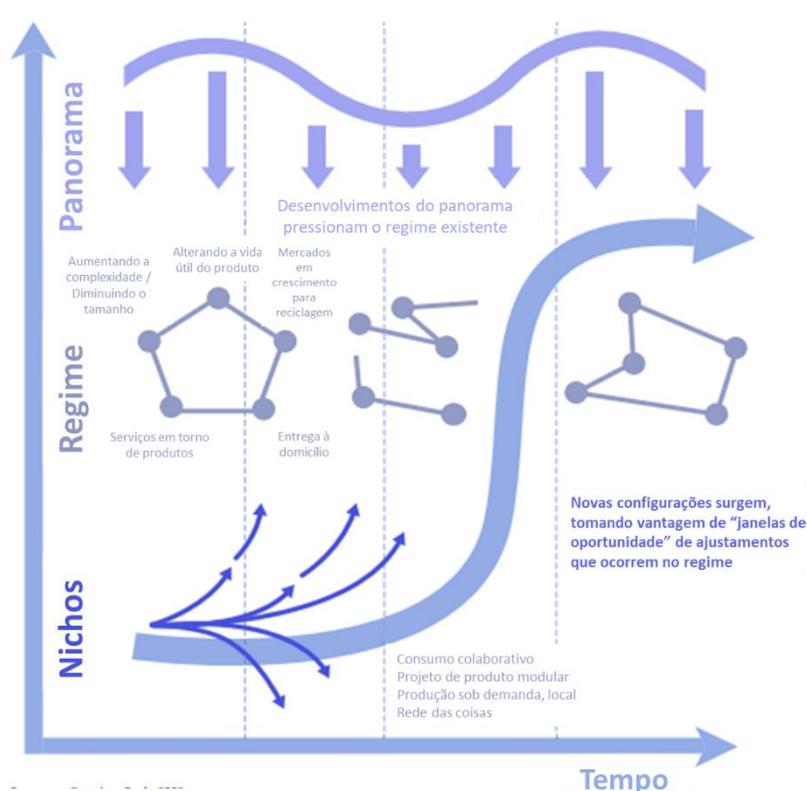
abstrato e possui maior possibilidade de mudança e os nichos são onde as mudanças e inovações ocorrem (GEELS, 2002).

Através da inovação, os nichos podem, por influência do estado ou não, forçar o regime a passar por transições. A transição exige a reconfiguração de diversos setores da economia, dos consumidores, práticas sociais e modelos de negócio (EEA, 2017).

Por esta razão, qualquer mudança de regime envolve a participação de empresas (produtores), fornecedores, redes financeiras, usuários, redes de pesquisa, grupos sociais e autoridade públicas (GEELS, 2002).

Para um desenvolvimento sustentável e estabelecimento de uma política que favoreça a circularidade nos fluxos de materiais, este trabalho se dedica a SI e no potencial que ela traz para eficiência no uso de resíduos e na cooperação entre empresas para o bem comum da sociedade, economia e meio ambiente.

Figura 8 - Transições de sistema em uma perspectiva multinível



Fonte: Traduzido de EEA (2017).

### 2.2.2. O conceito da SI

Para aumentar a eco-eficiência de um sistema e favorecer o desenvolvimento sustentável este trabalho buscou apoio na teoria da SI, esta que integra empresas individuais em um sistema coletivo onde os benefícios mútuos superam a soma dos individuais. Teoria esta que será explicada a seguir para entender as características deste objeto e suas especificidades.

Loiseau et al (2016) traz a SI como dentro das teorias ecológicas e econômicas, no conceito de EI e EC. A SI possui uma visão de alto nível de mudança e de médio nível de substituição entre capitais econômicos e ambientais, ficando em uma zona de classificação que os autores chamam de forte sustentabilidade.

Num cenário onde há o aumento de geração de resíduos e escassez de recursos naturais, surgem como que por necessidade, o desenvolvimento contínuo de estratégias para fechar o *loop* do fluxo de materiais, entre elas a SI ganha destaque pois retorna recursos e resíduos para o processo produtivo novamente (LYONS, 2007).

O termo simbiose vem do relacionamento biológico simbiótico existente na natureza onde dois ou mais seres vivos de espécies diferentes e não-relacionadas possuem uma associação benéfica na forma de troca de materiais, energia ou informações, onde a soma dos esforços coletivos supera a soma dos esforços individuais. Um exemplo encontrado na natureza ocorre entre algas e fungos, onde os fungos mantêm e protegem as células das algas e elas produzem nutrientes para os fungos por meio da fotossíntese, formando-se um ciclo fechado. Mostra-se nesta definição a força estratégica da SI para integração e busca por benefícios mútuos ao sistema como um todo (CHERTOW, 2000).

Chertow (2000, p. 313) a define como “uma abordagem coletiva de indústrias separadas para obter vantagem competitiva envolvendo trocas físicas de materiais, energia, água, onde a colaboração e possibilidades sinérgicas obtidas pela proximidade geográfica são a chave para a simbiose industrial”. Chertow (2004) complementa que a soma dos benefícios conseguidos coletivamente é maior do que os conquistados individualmente, com isso criando valores sociais que podem atingir toda a vizinhança. E Chertow (2007) coloca ainda que para distinguir a SI de outras trocas define um critério mínimo chamado de “Heurística 3-2” onde no mínimo três empresas diferentes devem estar envolvidas em no mínimo duas trocas de recursos.

Descrever o SI como uma rede que envolve pelo menos três atores implica num certo nível de complexidade que transcende um fluxo que é apenas entre dois atores, sendo este considerado um precursor do SI no momento em que uma rede ainda está emergindo (CHERTOW, 2007) ou como um componente do SI, uma vez que a rede tenha se materializado.

O estudo da SI progrediu do estudo dos intercâmbios que ocorrem nas empresas para incluir a sinergia entre as empresas e, finalmente, para incluir trocas regionais de recursos e compartilhamento de informações (CHERTOW, 2000).

Para Trokanas, Cecelja e Raafat (2015) SI é um paradigma aceito e em crescimento para processar resíduos em material, energia e água com benefícios para participantes medidos em ganhos econômicos, ambientais e sociais. Onde a análise de entrada/saída é a chave para formação de redes simbióticas.

Os principais objetivos da SI conforme Branson (2016) incluem a conquista de benefícios ambientais usando resíduos ou compartilhando recursos em termos financeiros aceitáveis. Pode ser encarado como produção mais limpa quando ocorre o uso de resíduos pela própria empresa.

A SI oferece um modelo de referência para alcançar uma vantagem competitiva coletiva, resultando em resultados econômicos positivos e sustentáveis, ao tentar mediar os danos ambientais através da cooperação (MANNINO et al, 2015).

A SI promove integridade ambiental com uso produtivo de resíduos, integridade de recursos e aceleração de degradação biológica (com diminuição de toxinas e separação de componentes), igualdade social com relacionamento com a comunidade, cooperação, redução de poluição e prosperidade econômica com diminuição de custos (BANSAL; MCKNIGHT, 2009).

A pré-condição para um sistema com SI segundo Zhang et al (2015) é a cooperação entre as empresas, as quais formam uma rede como resultado dessa cooperação. Os intercâmbios e os fluxos de recursos dentro do sistema são os principais aspectos que definem a simbiose.

A SI possui, para realizar estas características apresentadas em sua definição, elementos de associação as empresas e suas operações, onde os resíduos gerados nos processos são aproveitados por outras empresas a fim de usar eficientemente os recursos, formando um ciclo fechado onde os desperdícios são aproveitados ao máximo em detrimento de um desenvolvimento econômico, sustentável e social (CHERTOW; ASHTON; ESPINOSA, 2008).

Ashton (2008) diz que as empresas podem, além de trocas físicas, compartilhar serviços, como transporte e coleta de resíduos, e compartilhar a gestão de certas utilidades, como no caso de energia e do tratamento de água. SI pode envolver ainda o compartilhamento de vapor, manufatura, logística e conhecimento (*know-how*) formando uma rede de empresas (JENSEN et al., 2011). Nguyen e Matsuura (2016) afirmam que relações de SI são mais fortes quando compartilham infraestrutura ou serviços do que quando apenas trocam resíduos. Yuan e Shi (2009) dizem ainda que o compartilhamento de infraestrutura ambiental melhora a vantagem competitiva das empresas, reduz custos, reforça a cooperação e integração.

Uma rede simbiótica, com empresas participantes na SI, segundo Chertow e Miyata (2011) otimiza o fluxo dos recursos e minimiza a geração de resíduos, criando uma performance ambiental e econômica além do que quando essas empresas estivessem operando isoladas. No caso de sistema com SI analisado pelos autores houve redução da obtenção de matéria prima, melhora na cooperação e redução de impactos ambientais.

Uma taxonomia para as trocas simbióticas é proposta por Chertow (2004), considerando elementos espaciais e organizacionais, identificando 5 tipos característicos para analisar as trocas:

- a) Através de trocas de desperdícios: focado no estágio final da vida do produto, onde cria-se uma lista de materiais onde empresas dispõe seus produtos que não são mais necessários, porém outras organizações utilizam. Pode ser local, regional, nacional ou global;
- b) Dentro de uma organização, instalação ou firma: ocorre dentro das fronteiras da própria organização, considerando o ciclo de vida dos produtos, processos e serviços, e a cadeia de suprimentos do produto em questão;
- c) Entre firmas localizadas em um Parque Eco Industrial definido: neste caso empresas podem trocar água, energia e materiais, além de informações e serviços. Os relacionamentos começam dentro do perímetro definido pelo parque, porém pode-se estender para firmas externas, caso necessário;
- d) Entre firmas locais não colocadas em um perímetro definido: empresas são próximas e apresentam parcerias, com trocas de materiais, água e energia, porém em uma proximidade geográfica não colocadas em um parque industrial;

- e) Entre firmas organizadas virtualmente por uma região: este tipo depende mais no conceito de SI, focando mais nas trocas do que na localização. Um exemplo principal está na agricultura ou reciclagem de automóveis.

Considerando a definição apresentada, Chertow (2007) e Jensen et al (2011) afirmam que a SI possibilita ganhos econômicos e ambientais para o país e para as empresas que participam desta. Alfaro e Miller (2014) defende que ela aumenta o valor das marcas e consequentemente das empresas que a realizam além de reduzir impactos ambientais, que é algo tão requisitado pela sociedade nos dias atuais. Sokka et al. (2011) descreve que tal redução pode chegar a 20%, com a redução da necessidade de comprar matérias primas virgens e energia, através de um consumo eficiente dos recursos.

O uso de sinergias entre os membros de um sistema com SI, com o compartilhamento de materiais e visão, reduz custos e desperdícios, e como pontos positivos, favorece a reputação ambiental, receitas e o fluxo de informações com parceiros (DEAN; FATH; CHEN, 2014).

A SI possui duas formas clássicas de ocorrer, a forma planejada que diz respeito àqueles desenvolvimentos onde um esforço consciente é feito para localizar empresas e engajá-las na SI, e a forma auto-organizada, onde a SI se baseia em núcleos existentes de cooperação e troca que foram desenvolvidos sem a intenção de se envolver simbiose industrial (Chertow 2007). O segundo tipo conseguiu atingir a confiança entre os membros de forma mais fácil e sua evolução é mais rápida, porém é mais difícil de ocorrer pois depende apenas dos próprios agentes (PAQUIN; HOWARD-GRENVILLE, 2012).

Costa e Ferrão (2010) acrescentam uma terceira forma a essa distinção, que eles chamam de abordagem do meio-termo, onde agentes de instituições governamentais, industriais e universidades convergem em um processo de *feedback* positivo para criar um adequado contexto que é capaz de apoiar o desenvolvimento da SI.

A SI é estruturada a partir de atores presentes em um sistema, para Boons et al (2017) os atores industriais são as unidades economicamente e organizacionalmente discerníveis (com algum poder discricionário de tomada de decisão) que empreendem atividades que transformam insumos em produtos destinados a transformação ou consumo adicionais.

Esses atores industriais conectam os fluxos através de atividade de coordenação, apresentadas por Boons et al (2017) como: negociação de contratos, visão conjunta, facilitação e formulação, implementação, monitoramento e avaliação de programas de

políticas. O engajamento em atividades coordenadas exige que os atores industriais mobilizem recursos intangíveis, como recursos humanos e capital intelectual.

Bellantuono, Carbonara e Pontrandolfo (2017) colocam variáveis que devem ser consideradas num sistema com SI: existência de um membro âncora, suporte do estado, heterogeneidade dos membros, cooperação entre empresas, cooperação entre universidades e centros de pesquisa, cooperação com agências governamentais, sistema de informação e de suporte compartilhados, trocas de materiais, uso sustentáveis de materiais naturais, adoção de melhores técnicas, *eco-design*, aquisição verde, transporte sustentável, proteção ambiental, serviços de bem-estar social, treinamento e educação, participação e consciência da comunidade e responsabilidade com o produto.

O desenvolvimento da SI pode ser abordado considerando várias perspectivas, por exemplo, social, econômica, ambiental, espacial, organizacional e técnica (YAZAN; ROMANO; ALBINO, 2016). E uma análise da SI deve ocorrer em dois níveis considerados pelo autor como principais, o sistema industrial regional (caráter geográfico e técnico) e os conceitos e rotinas (caráter social) (BOONS; SPEKKINK; MOUZAKITIS, 2011).

Do ponto de vista social, Mirata e Emtairah (2005) destacam a importância de estimular a definição coletiva de problemas e de construir interfaces intersetoriais e defender a importância da cultura interorganizacional como componente social da SI. Em alguns casos onde há alto nível de diversidade cultural há baixa cooperação. Para Lambert e Boons (2002) a SI funciona como um processo social onde a aprendizagem é essencial para a interação dos atores. Yazan, Romano e Albino (2016) atentam para os interesses divergentes dos atores, e que estes devem ter um pensamento coletivo nas tomadas de decisões, com responsabilidade e compromisso com o desenvolvimento sustentável.

Do ponto de vista geográfico e técnico, Lyons (2007) examina a relação entre escala geográfica e fechamento de *loop* para resíduos heterogêneos. Suas descobertas mostram que não há escala espacial preferível na qual o fechamento do circuito deve ser organizado e este é dominado pelas transações decorrentes da lógica econômica espacial das empresas envolvidas. Com relação ao técnico, atenta-se para as tecnologias e produtos específicos de cada membro.

Para a SI ocorrer de forma eficiente, com resultados e evolução positiva, esta precisa de cooperação e confiança. Estes são fatores de extrema importância para o desenvolvimento da SI e cruciais ou seu sucesso e eficiência (GOLEV; CORDER; GIURCO, 2014; DOMÉNECH; DAVIES, 2011).

Características estas que são fortalecidas de acordo com a quantidade de participantes, para Won et al. (2006) quanto mais membros engajados na SI, mais ligações podem ser estabelecidas e desenvolvidas, aumentando a diversidade de materiais e serviços, melhorando a flexibilidade e integração das empresas participantes.

Companhias envolvidas na SI precisam discutir preço, quantidade, frequência e qualidade das trocas em questão. A gerência também é um ponto essencial para o desenvolvimento de todos os relacionamentos, seja este de materiais, de informação ou de energia (ASHTON; BAIN, 2012).

Simboli, Taddeo e Morgante (2014) colocam que a SI possui como principais direcionadores para seu projeto: a localização geográfica, os requisitos técnicos, a presença de um sistema regulatório, a homogeneidade/heterogeneidade das empresas, e a participação dos *stakeholders*.

Para que a SI ocorra Chertow e Lombardi (2005) colocam que é necessário que os atores envolvidos tenham principalmente e essencialmente confiança e comunicação, além do auxílio e participação do estado, com incentivos ou leis que favoreçam o desempenho do sistema.

Wang Feng e Chu (2013) alegam que para que a SI ocorra de forma eficaz esta deve ter seus custos menores que os lucros oriundos de cada relacionamento, levando em conta os custos com depreciação e com a implantação e manutenção do sistema apropriado para realizar cada troca. Won et al. (2006) fala que todos os membros devem sair ganhando, os equipamentos devem ser capazes de realizar os processos necessários que atendam as especificações de cada empresa e as características de cada troca.

Os relacionamentos são itens essenciais a SI, Chertow, Ashton e Espinosa (2008) analisaram os casos de SI e citam três tipos de relacionamentos observados por eles, o compartilhamento de utilidades ou infraestrutura, o compartilhamento de serviços e a troca de materiais, com aumento da eficiência no uso de recursos em busca de um sistema circular.

As interações básicas que ocorrem nos relacionamentos presentes na SI são descritas por Chen et al. (2012) como: quando uma empresa é central e possui fortes relacionamentos, tornando o sistema dependente desta; quando a rede formada é baseada na igualdade e todas trocam recursos entre si, estando todas num mesmo nível de importância; quando a SI ocorre em empresas que se tornam aninhadas as outras porém possuem empresa menores que trocam isoladamente com apenas uma participante; por fim quando a rede é totalmente organizada pela internet.

Para aumentar a integração entre as empresas membros da SI, Boons e Spekkink (2012) citam algumas variáveis, sendo elas: processo de aprendizagem e visão estratégica; diversidade de participantes; nível de confiança; empresas âncoras ou coordenadoras; contexto permitido em termos de políticas, regulações e outras instituições de incorporação; número e qualidade de relacionamentos; perspectivas compartilhadas em problemas e soluções; visão estratégica compartilhada; e o nível de atuação dos líderes.

Mulder e Kaijser (2014) complementam que se deve utilizar equipamentos e sistemas tecnológicos de forma compartilhada para obter ganhos com economia de escala e colocam mais três condições importantes para a SI, as condições de espaço para prover integração, os ganhos de eficiência esperados em relação a perda de autonomia dos sistemas integrados e os processos sociais entre os atores envolvidos.

Algumas características que devem estar presentes para melhorar a sustentabilidade de um sistema com SI são estabelecidas por Simboli, Taddeo e Morgante (2015): substituição de alguns materiais, trocando por biomateriais, com especial atenção ao problema de aumento de custo; reparo de equipamentos (exemplo de containers) para não os descartar sempre que houver falhas; busca contínua para soluções coletivas para restos, resíduos e subprodutos; desenvolvimento de uma plataforma de reciclagem local comum; e apoio constante do estado.

Wang, Deutz e Chen (2017) analisaram as redes de coordenação da SI em uma região chinesa, para entender sua caracterização, encontrando que a rede analisada é composta por um eco-centro, onde ocorrem eventos e reuniões para planejamento estratégico e tomada de decisão, ligado a este tem-se o suporte político, através de organizações, ONGs, comitês, centros de pesquisa e o próprio estado, o suporte operacional e de monitoramento e a troca de experiência. Estes são ligados na implementação de ideias com as empresas locais para desenvolvimento eficiente da SI.

A SI usa o processo de conectar fluxos como sua característica central, e frequentemente é, construída sobre um conjunto de atores industriais que já estão relacionados com ou sem estarem conectados por fluxos materiais. Não é um fenômeno estático, mas uma série de eventos através dos quais conexões são construídas, mantidas e, eventualmente, dissolvidas. Vale ressaltar a presença destas dinâmicas na SI (BOONS et al, 2017).

Herczeg, Akkerman e Hauschild (2018) através de uma revisão da literatura de SI apresenta as seguintes proposições para seu correto desenvolvimento: o alinhamento de

incentivos nas redes de SI requer a criação de uma estrutura para compartilhar os custos, riscos e benefícios das sinergias de subprodutos e enfatizar os problemas econômicos, ambientais e sociais locais; o aprendizado coletivo em redes de SI requer o engajamento dos agentes em aprender sobre as necessidades uns dos outros, a fim de guiá-los para a colaboração na resolução de problemas estratégicos; o sistema de informação da rede de SI deve ser constantemente atualizada com parceiros atuais e potenciais; por fim, as redes de SI requerem um bom gerenciamento da variabilidade de qualidade e quantidade dos fluxos para correspondência de oferta e demanda.

Partindo de uma perspectiva organizacional, Herczeg, Akkerman e Hauschild (2018) mostram que a SI enfatiza a transparência, as normas culturais compartilhadas, as redes sociais e a confiança, que permitem que as empresas compreendam as capacidades umas das outras e formem alianças estratégicas baseadas em fatores econômicos e responsabilidade social e ambiental.

Para cada troca encontrada no sistema deve-se realizar uma análise da empresa fornecedora e cliente, com suas características e demandas, e dos resíduos, com quantidade e aspectos qualitativos. Esta análise fornece subsídios para compreensão do sistema e fornece ideias sobre o tipo e características necessárias de novas empresas que possam tornar-se membros para aumentar a eco-eficiência e os ganhos (GOLEV; CORDER; GIURCO, 2014).

Identificaram-se na literatura uma série de fatores que devem influenciar as características obtidas e desempenhadas ao longo do processo de desenvolvimento e evolução da SI em um sistema. Esses fatores precisam ser conhecidos para adaptá-los e agregá-los ao projeto de SI.

Existem cinco fatores para Mirata (2004) que influenciam no desempenho e no sucesso da SI, o fator técnico, incluindo utilidades, logística, fluxos e materiais, o fator político, com leis, normas, regulações, taxas, o fator econômico e financeiro, considerando principalmente custos e retorno sobre o investimento, o fator informacional, com comunicação e divulgação de informações confiáveis, e por fim o fator organizacional e motivacional com a confiança e interação entre todos os envolvidos. Simboli, Taddeo e Morgante (2015) consideram que estudar os requisitos técnicos e geográficos, o sistema regulatório, a participação da comunidade local e de *stakeholders* também são considerados fatores importantes.

Os fatores de sucesso para desenvolvimento da SI na visão de Paivarinne, Hjelm e Gustafsson (2015) são: ter uma visão clara e objetivos comuns entre os membros do

sistema, considerar os aspectos financeiros nas decisões, mas não como principal fator de sucesso, obter colaboração para solucionar os problemas de forma conjunta, definir o que se ganha e o preço, além de sempre requerer honestidade e visão compartilhada dos atores dentro do sistema. Estes últimos são essenciais pois cada membro possui informações confidenciais e cruciais para suas estratégias de mercado.

### 2.2.3. Principais benefícios e barreiras para a SI

Os benefícios que a SI consegue conquistar são expostos por vários autores na literatura, onde os mais citados são ambientais, principalmente com eficiência no uso de recursos e diminuição de poluição e descarte, econômicos com redução de custos de matéria-prima virgem e aumento de receita com subprodutos, e por fim, social, com aumento de valor “verde” no mercado, cooperação e confiança com outras empresas, inovação e benefícios a comunidade (MIRATA; ENTAIRAH, 2005; ZHU; LOWE; BARNES, 2007; SOKKA; PAKARINEN; MELANEN, 2011; DONG et al., 2013; WU; QI; WANG, 2016; PATALA et al., 2014; WON et al., 2006; e VAN BEERS; BOSSILKOV; LUND, 2009).

Mirata (2004), Sun et al (2016) e Yu, Han e Cui (2015) complementam com melhora nos relacionamentos com parceiros externos, facilidade para desenvolvimento de novos produtos, geração de emprego e ambiente de trabalho mais seguro e limpo, e ambientalmente responsável, além da redução de carbono e lixo expressiva.

Focando em benefícios oriundas da colaboração, Witjes e Lozano (2016) afirmam que ela aumenta o número de ideias e aumenta a performance da empresa em geral, a habilidade de otimizar os recursos financeiros e humanos, melhora acesso a mercado e conhecimento, enriquece a criatividade, melhora aprendizagem e aumenta eficiência. Além de demandar cuidado para alguns pontos negativos como distribuição de ganhos, informações, custos, e divulgação de resultados.

Apesar da gama de benefícios apresentados, a SI enfrenta algumas barreiras que são grandes empecilhos para seu desenvolvimento eficiente e evolução nos países onde ela foi realizada. As empresas precisam pensar em conjunto e não estabelecer preços de forma isolada, a demanda e oferta de resíduos deve ser cuidadosamente analisada, a logística para as sinergias é crucial, por fim, deve-se ter confiança nos membros e evitar o pensamento da empresa geradora do resíduo em cobrar alto valor pelo fornecimento e

a empresa demandante em requerer o resíduo a custo zero (PAIVARINNE; HJELM; GUSTAFSSON, 2015).

Para toda troca simbiótica, as partes assumem um compromisso e dependem do acordo estipulado, o que é dificultado pela variação do volume de produção em razão da demanda (LEE; TONGARLAK, 2017). Além disso, o fato de que cada membro participa da SI para obter ganhos e aumentar os lucros individuais, o que gera conflitos de interesse que devem ser constantemente resolvidos (TAN et al, 2016).

Para a SI há notoriamente barreiras econômicas, técnicas e informacionais (TUDOR et al, 2007), o que emerge nos casos como principal restrição é a estratégia do negócio focado no produto primário, os resíduos são vistos como algo que devem ser dispostos em grandes volumes, com menor custo e de forma rápida (NOTARNICOLA; TASSIELLI; RENZULI, 2016).

As barreiras para SI são classificadas de acordo com Madsen et al (2015) em: físicas e técnicas, quando não há quantidade suficiente para trocas, e dificuldade em encontrar compradores; regulatórias, quando ocorre falta de interpretação das partes, legislação, comunicação ou investimento; de recursos, quando ocorre lucro incerto, preço de recursos virgens baixo, economia, alto grau de exigência para lucro e falta de experiência; de colaboração, diferença de tamanho, falta de confiança, atribuição de custos e benefícios entre os membros, prioridades; de motivação, com diferentes interesses e falta de prioridade para aspectos ambientais; social, compreensão limitada para a SI.

Um ponto importante levantado por Branson (2016), a partir da análise de Kalundborg, é tal que existe uma distância entre os membros, chamada de distância mental e que para um bom relacionamento entre gestores e um aumento de lucro com estratégias alinhadas, ela deve ser mínima.

Como um importante direcionador, Albino, Fraccascia e Giannoccaro (2016) colocam que é necessário firmar um contrato para confirmar a relação ganha-ganha e obtenção de ganhos financeiros. Devem ser analisados e considerados os custos e quantidade de materiais virgens, resíduos, e em especial os custos com disposição.

Além do contrato, Albino, Fraccascia e Giannoccaro (2016) comentam da necessidade de analisar friamente as firmas que pagam ou cobram pelos resíduos e as firmas que cobram ou doam o fornecimento de resíduos, lembrando a todo momento que uma firma pode interromper ou formar relacionamentos novos relacionamentos, dependendo do contrato firmado.

Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2017) atentam para o fato de que a formação de relacionamentos de SI gera custos adicionais de transação, devido à busca do parceiro simbiótico, à negociação das cláusulas econômicas para a troca de resíduos e à necessidade de monitorar a relação. Assim, pode acontecer que as empresas decidam não criar relacionamentos de SI devido ao alto montante de custos de transação. Finalmente, a disposição de cooperar nas trocas de SI também pode ser influenciada por fatores organizacionais idiossincráticos, como o tamanho desejado de capital investido em projetos de SI, o tempo de retorno do investimento e o retorno sobre o investimento.

Teh et al (2014) e Menato et al (2017) apresentam fatores cruciais para serem considerados para assegurar a SI: ajuda de instituições governamentais, leis e regulações, financiamentos, capacitação e conscientização, tecnologias ambientais, trocas de informações, inovações, colaboração, mercado consciente, proximidade geográfica e mental, e estrutura para compartilhamento considerando as diferenças de gestão e cultura das empresas.

#### 2.2.4. Formas de organização no desenvolvimento da SI

A SI para ser melhor desenvolvida e utilizada precisa de uma organização dos agentes que favoreça tal situação. Herczeg, Akkerman e Hauschild (2018) defendem a existência de uma empresa central para organizar a SI, para que não permaneçam todas as empresas em mesma hierarquia para a tomada de decisão e planejamento estratégico. Deve-se considerar que cada agente possui uma história, cultura e objetivos específicos que transcendem o pensamento no bem do grupo, como o lucro e rendimento mensal.

##### 2.2.4.1. Presença de um Coordenador

Embora dentro de uma aglomeração industrial exista uma maior capacidade de estabelecer caminhos colaborativos, as empresas não têm chances de impor ações a outras empresas: elas são os controladores (tomadores de decisão) apenas de seu próprio comportamento. Como regulador para dirigir a SI faz-se necessária a presença de uma empresa ou organização na forma de tenente, que coordena e planeja o desenvolvimento correto do sistema simbiótico (NOTARNICOLA; TASSIELLI; RENZULI, 2016).

Isso abre a abordagem do comportamento simbiótico em nível de rede, onde a tomada de decisões descentralizada para a rede é direcionada para um comportamento global sustentável e otimizador (MENATO et al, 2017).

Por esta razão, Menato et al (2017) defendem que a troca de fluxos deve ser governada por um coordenador (externo) para obter uma otimização geral dos desempenhos. A principal diferença com as abordagens atuais é o fato de não considerar o número de empresas envolvidas em cada fluxo, mas o número de empresas necessárias para identificar as diferentes oportunidades de simbiose e as diferentes abordagens para a avaliação de fluxos. De fato, os fluxos são avaliados considerando a rede global e não individualmente e novas oportunidades de simbiose são garantidas e gerenciadas por um coordenador.

As principais funções abrangidas pelo coordenador de acordo com Menato et al (2017) são promover e coordenar os contatos e colaboração entre empresas, gerenciar infraestruturas e serviços, recrutar novas empresas, identificar oportunidades e levar as empresas a implementar as possíveis soluções, impulsionar processos para solicitar ou levantar fundos para financiar projetos de infraestrutura e instalações, e assegurar que as conexões corretas com os grupos de financiamento estejam em vigor.

São funções do coordenador no aspecto informativo, estabelecer uma plataforma para o diálogo e o compartilhamento de informações para todas as partes interessadas envolvidas e lidar com a assimetria de informações durante os processos de negociação. No aspecto econômico, gerenciar as receitas das empresas aderentes à rede simbiótica e redistribuir a receita para as mesmas empresas menos os custos de investimentos e manutenção, fornecer às empresas uma avaliação abrangente da contribuição de investimento, fornecer suporte durante a fase de implementação do cenário simbiótico, distribuir as receitas entre o próprio coordenador e as empresas com base em seu ganho operacional e cumprimento das escolhas simbióticas sugeridas (MENATO et al, 2017).

A introdução de um coordenador para a gestão de trocas de fluxo transforma as barreiras apontadas por empresas preocupadas, ainda não adotando qualquer abordagem simbiótica, em impulsos para a criação de interações de SI. Os investimentos são compartilhados e economias de escala são garantidas pelo envolvimento de múltiplos atores, também heterogêneos, e uma gestão centralizada de utilidades e fluxos materiais. A partilha custos / benefícios é mais justa, graças à introdução de um terceiro. A presença de um fiador para a proteção dos participantes e também os fluxos de informação são mediados por essa entidade, o que facilita a motivação e evolução dos agentes. A seleção de oportunidades simbióticas é feita pelo coordenador que também é responsável por recompensar os comportamentos das empresas em conformidade com suas decisões (MENATO et al, 2017).

O coordenador pode ser um indivíduo, uma agência governamental, uma organização de serviços ambientais ou uma associação industrial que promove ou facilita a SI. No geral, a coordenação da SI deve considerar a inclusão de organizações como departamentos governamentais, empresas de serviços ambientais, instituições acadêmicas ou pessoas que trabalham em conjunto para promover atividades de SI inter-empresariais em uma região (WANG; DEUTZ; CHEN, 2017).

#### 2.2.4.2. Presença de um Campeão

Campeão são empresas que se destacam em suas organizações por inovatividade, estilo de liderança ou a forma de superar riscos. Existem vários papéis de campeão entre os agentes da SI, distinguindo principalmente entre poder, redes e colaboração, tecnologia e conhecimento e institucionais (KOKOULINA et al, 2018):

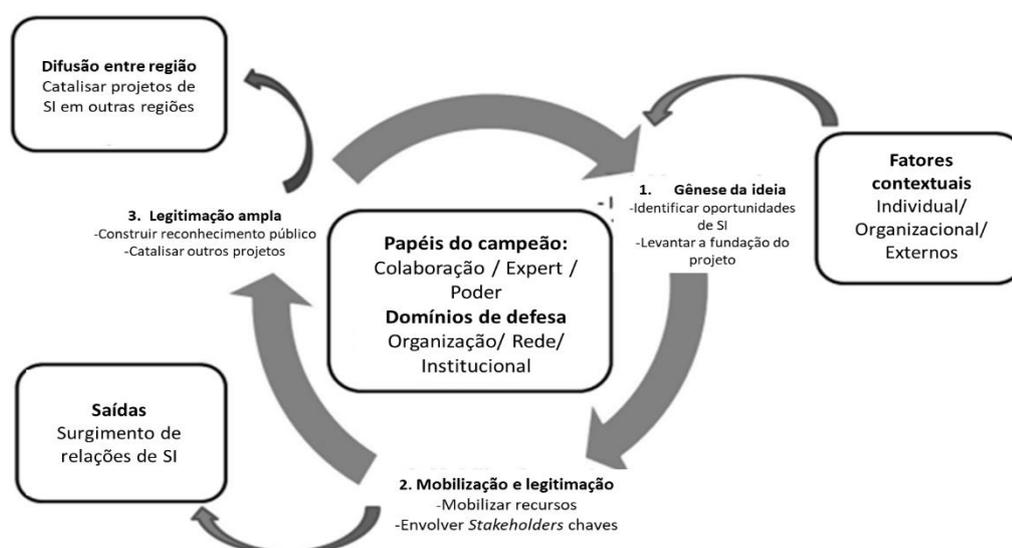
- a) O primeiro foca na influência e o poder de defender. Esses campeões usam o poder derivado de uma posição de autoridade ou influência pessoal para orientar as ações da rede. Os atores nessa função eram autoridades locais ou representantes comerciais;
- b) Os campeões de redes e colaboração concentraram-se em abordar o cruzamento de fronteiras industriais. As organizações do setor público desempenharam um papel fundamental nesse processo de defesa;
- c) Os campeões de tecnologia e conhecimento tiveram acesso aos recursos tecnológicos, conhecimento e *know-how* necessários para realizar oportunidades de SI identificadas. Os dois principais tipos organizacionais nessa função eram organizações e empresas de pesquisa;
- d) Por fim, os campeões institucionais facilitaram principalmente os aspectos regulatórios e legais. Este papel foi desempenhado principalmente pelas autoridades locais que facilitaram e ajudaram nos processos de licenciamento.

Kokoulina et al (2018) ainda mostra o processo de emergência da SI com o papel do campeão, estipulando três fases principais, com gênese da ideia, mobilização e legitimação e legitimação ampla. Todas as etapas estão em ciclo contínuo e sempre considerando os campeões do processo, o contexto do ambiente, as saídas desejadas e conquistadas e evolução do sistema com SI, conforme Figura 9.

#### 2.2.4.3. Presença de um âncora

Um aspecto importante discutido por Sun et al (2017) é a ancoragem, caso especial em que uma âncora industrial central atrai outros atores, principalmente para o benefício do ator central, e onde uma rede de simbiose industrial é construída ao longo da cadeia de valor das empresas âncoras. Esta é uma abordagem generalizada na China e que concentra a dinâmica social do sistema em função de atores centrais, considerados âncoras.

Figura 9 - Processo de emergência da SI com o papel do campeão



Fonte: Traduzido de Kokoulina et al (2018).

As atividades de ancoragem possuem o propósito deliberado de criar condições propícias à SI, onde atores (principalmente governamentais) visam deliberadamente criar oportunidades para o desenvolvimento da SI e para atrair novos atores industriais a uma determinada área. Essas atividades de ancoragem claramente se baseiam umas nas outras e podem ser entendidas como partes de uma estratégia de ancoragem abrangente (SUN et al, 2017).

Sun et al (2017) apresentam o Quadro 1, colocando os papéis de atores âncoras dentro de um sistema de SI. O autor divide a ancoragem em dois tipos principais, a física e a institucional, sendo a segunda mais abrangente e diretamente relacionada com o aspecto social necessário a emergência da SI.

Quadro 1 - Ancoragem física e institucional

Ancoragem física	Ancoragem institucional
Contribuindo para sinergias: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Criar oportunidades para sinergias de sub-produtos e utilidades;</li> </ul>	Estimular interações sociais: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitar interação entre <i>stakeholders</i>;</li> <li>• Manter contato próximo com <i>stakeholders</i> relevantes;</li> </ul>

<b>Ancoragem física</b>	<b>Ancoragem institucional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Providenciar compartilhamento de utilidades e serviços.</li> </ul>	
Criação de infraestrutura: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Providenciar infraestrutura física</li> </ul>	Suporte para conhecimento: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Providenciar conhecimento e <i>expertise</i>;</li> <li>• Providenciar plataformas para educação;</li> <li>• Construir estoques e bases de dados para entradas e saídas;</li> </ul>
	Suporte para política e gestão: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Providenciar suporte político;</li> <li>• Implementar leis e regulações;</li> <li>• Providenciar suporte gerencial;</li> </ul>
	Recrutamento: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recrutar novas companhias para estabelecimento;</li> <li>• Definir preços benéficos;</li> <li>• Promover a área;</li> </ul>
	Liderança de projetos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atuar como dono dos projetos de SI;</li> <li>• Ser um modelo.</li> </ul>

Fonte: Sun et al (2017).

### 2.2.5. O contexto social da SI

Um importante contexto da SI diz respeito ao social, este que envolve o estudo das relações entre os atores do sistema, sendo os gerentes e *stakeholders*, tomadores de decisão.

A SI é constituída por duas perspectivas, a física e a social, sendo a física o envolvimento da transferência de materiais, e a social é uma rede de relacionamentos cooperativos entre pessoas agindo essencialmente como pessoas naturais com troca de ideias, conselhos e conhecimentos (BRANSON, 2016).

Ceglia, De Abreu e Da Silva Filho (2017) focam nos aspectos sociais como chave para o desenvolvimento de SI, onde especifica-se os valores incorporados no comportamento gerencial, a construção de relacionamentos de confiança entre empresas, com alteração do domínio cognitivo residual, e estabelecimento do envolvimento ambiental entre as empresas.

Para Spekkink (2016) a SI exige interação e confiança entre as empresas que vão além da prática comercial normal, essa colaboração expandida é um componente e um precursor necessário do desenvolvimento do ecossistema industrial. Portanto, a dimensão social da SI refere-se à necessidade de que as empresas interajam mais amplamente do que o necessário para a prática comercial normal.

A SI também está relacionada aos processos de aprendizagem e inovação (DOMÉNECH; DAVIES, 2011). Esta oferece definições para problemas coletivos e

possibilita a busca e descoberta em interfaces intersetoriais por meio de colaboração interorganizacional (MIRATA; EMTAIRAH, 2005). Para Chertow, Ashton e Espinosa (2008), um dos resultados da SI é o aprendizado coletivo sobre a gestão econômica e ambiental da gestão compartilhada de recursos.

As atividades de SI são moldadas pelo contexto cognitivo, estrutural, cultural, político, espacial e temporal em que ocorrem. A dinâmica social que a SI implica é fundamentalmente importante na compreensão do surgimento e desenvolvimento do contexto social mais amplo no qual as transações são realizadas (SPEKKINK, 2016).

Como postulado por Chertow e Ehrenfeld (2012) e outros, a dinâmica auto-organizada dos SI é geralmente influenciada pela inserção social dos atores industriais locais, sua confiança mútua e sua estrutura social. Os atores de um grupo são conforme Ghali, Frayret e Ahabchane (2017) socialmente incorporados se seu comportamento é influenciado por outros atores do grupo ou por normas sociais que são compartilhadas dentro desse grupo. Assim, a natureza e estrutura dos laços sociais dentro de um grupo influenciam a dinâmica do SI.

Outra característica social do desenvolvimento de SI é a capacidade institucional das organizações para mobilizar os atores necessários para melhorar o conjunto de oportunidades para iniciar e implementar sinergias industriais (BOONS; SPEKKINK, 2012). Esta capacidade exige que as organizações membros tenham um certo grau de compreensão das habilidades dos outros e de sua capacidade de contribuir para a criação de sinergias (GHALI; FRAYRET; AHABCHANE, 2017).

Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011) introduziram o conceito de capacitação institucional na literatura de SI, pois casos de sucesso de implementação de SI repercutem em cenários da literatura de planejamento. Ou seja, o desenvolvimento de SI em uma determinada localidade reflete a capacidade das organizações relevantes de abordar coletivamente o problema. Essa capacidade pode ser caracterizada como a medida em que eles construíram os elementos da capacidade institucional. Em termos de SI, esses elementos são a disponibilidade e o compartilhamento de recursos de conhecimento para a condução de atividades de SI; recursos relacionais (nível de confiança construído entre empresas e outros atores relevantes para ajudar na redução dos custos de transação); e capacidade de mobilização (capacidade dos atores de ativar firmas relevantes e outras partes para desenvolver ligações simbióticas) (WANG; DEUTZ; CHEN, 2017).

A capacidade institucional envolve a relação, onde existe uma rede de relacionamentos que serve para reduzir custos transacionais entre firmas através de

confiança e entendimento mútuo, o conhecimento, onde relaciona-se a habilidade de adquirir e usar informações que permitam que as firmas e outros atores moldem suas trocas para reduzir impactos ambientais, e a mobilização, com a habilidade dos atores dentro do parque industrial de ativar firmas relevantes e outras partes para desenvolver ligações simbióticas (BOONS; SPEKKINK, 2012).

Significativamente, a capacidade institucional é dinâmica e não uma condição estática. Os elementos de capacidade institucional e as relações entre eles evoluem ao longo do tempo (BOONS et al., 2011). Empresas já engajadas em relações de SI, por exemplo, demonstraram ter maior disposição para explorar possibilidades adicionais relacionadas a SI, o que poderia ser visto como um enriquecimento da capacidade institucional local de SI através da experiência. Boons e Spekkink (2012, 2013) tentaram investigar diretamente a relação entre a capacitação institucional e a geração de relacionamentos de SI.

Wang, Deutz e Chen (2017) argumentam que a capacidade institucional da rede de coordenação de SI é aumentada com recursos relacionais aumentados, recursos de conhecimento e capacidade de mobilização, e então levará a maior capacidade de inserir conhecimento, fomentar confiança e injetar mobilização na rede de SI local entre empresas.

Através de uma *survey*, Ceglia, De Abreu e Da Silva Filho (2017) obtém as principais razões do insucesso de algumas trocas simbióticas no caso analisado, tendo influencia direta do aspecto social com os agentes envolvidos. No que tange a valor, universalismo aparece como uma barreira, sendo quando as empresas buscam explicações em seus casos para conclusões generalizantes, além da seguridade de que estão no caminho certo e auto-direção, com uma estratégia isolada. Na confiança foi tido como de vital importância a realização de uma comunicação aberta e honesta. No domínio cognitivo dos resíduos, as empresas citaram entendimento e prática como vitais ao invés de avaliação e criação, mostrando a ideia de descartar em grandes volumes e de forma rápida. Como elementos para engajamento ambiental, os entrevistados citaram consciência, aberto à experiência e conveniência como fatores importantes o que fica um pouco distante para o desenvolvimento da SI.

Ceglia, De Abreu e Da Silva Filho (2017) concluem que diálogo, confiança, criatividade e empenho são as principais formas de vencer as barreiras sociais.

### 2.2.6. A SI como um sistema adaptativo complexo

Um sistema, de acordo com Jordan (1974) é visto como um conjunto de entidades ou elementos unidos por alguma forma de interação ou interdependência que constitui um todo integral. Morin (2005) corrobora com essa definição, definindo um sistema como uma unidade global organizada através das inter-relações entre elementos, ações e indivíduos.

O conceito de sistema pode ser dividido em três partes: sistema, que exprime a unidade complexa e o caráter fenomenal do todo e as relações entre o todo e as partes; interação, sendo o conjunto das relações, ações e retroações num sistema; e organização, sendo o caráter constitutivo dessas interações, representa aquilo que as forma, mantém, regula e rege (MORIN, 2005).

Uma característica relevante do sistema é que ele difere das somas de suas partes, podendo ser mais simples quando estiver em função das restrições e mais completo que a soma das partes quando surgir uma propriedade nova em função da sinergia (MARTINELLI et al, 2012).

Para Martinelli et al (2012) basicamente um sistema processa entradas e saídas, onde se retira e devolve-se transformado ao ambiente. O estado interno deste processo interfere nos resultados e é influenciado pelo ambiente externo. O sistema pode ainda ser fechado quando não realiza trocas com o ambiente, e aberto quando o faz, tendo sinergia e adaptabilidade.

Sistemas abertos são sujeitos a interferências externas e são vulneráveis a perturbações provindas do ambiente. Para tanto os sistemas possuem mecanismos de regulação para manter o equilíbrio interno, tais como (MARTINELLI et al, 2012):

- a) Homeostase: consiste em manter as variáveis importantes para o sistema dentro de seus limites definidos, em condições de equilíbrio favoráveis, através da realimentação negativa que as monitora e as corrige quando necessário;
- b) Regulação: as variáveis ou o estado interno do sistema são continuamente confrontados com uma referência, que estabelece o valor desejado para a variável controlada, desta forma qualquer desvio em relação à referência é corrigido;
- c) Aprendizagem: os sistemas complexos possuem faculdades flexíveis que desenvolvem aprendizado para lidar com a diversidade inerente do

ambiente e para se adaptar as diversas condições impostas em cada momento;

- d) Auto-organização: o sistema, por meio de um organizador, cria mecanismos de aprendizagem frente as perturbações externas e altera o regulador para que seja possível manter sua capacidade de regulação;
- e) Adaptação: os sistemas se adaptam, assim como suas referências, para se manter sob controle frente as mudanças ocorridas no ambiente, por meio da aprendizagem;
- f) Evolução: envolve mutações, mudanças estruturais e/ou funcionais permanentes para vencer novas ameaças e aproveitar novas oportunidades do ambiente externo.

Sistema é algo dinâmico, composto por pessoas que tomam decisões e realizam projetos, regidos por normas, regras e valores, que levam a estruturas diferentes. Cabe colocar que diferentes caminhos podem levar ao mesmo resultado (PUGH, 1991).

Um ponto importante em sistema a ser explorado e compreendido é a complexidade, devido ao grande número variáveis que o compõe, sendo por exemplo os agentes, decisões, e aspectos sociais, ambientais, econômicos e o próprio tempo.

Morin (2005) enxerga complexidade como quantitativa por ter grande quantidade de interações e interferências de muitas unidades, além de compreender incerteza, aleatoriedade e o fator hologramático em que o todo está na parte e a parte está no todo.

A compreensão de sistemas complexos e suas características são apresentadas por Morel e Ramanujam (1999) tais como, grande número de elementos interagindo, propriedades emergentes, auto-organização, agentes adaptativos e interativos, componentes interativos com regras para evolução.

Rotmans e Loorbach (2009) colocam que sistemas complexos são sistemas abertos que interagem com seu ambiente, evoluem e se desenvolvem constantemente ao longo do tempo, e contêm diversos componentes e interações entre componentes. Essas interações não são lineares: um pequeno estímulo pode causar um grande efeito ou nenhum efeito, ou um grande estímulo pode causar um pequeno efeito. Sistemas complexos possuem *loops* de *feedback*, tanto negativo (amortecimento) e positivo (amplificação), que são ingredientes-chave neste conceito.

Sistemas complexos possuem um histórico, onde estados anteriores têm uma influência sobre os estados presentes, que conseqüentemente influenciam os estados futuros. Isso cria dependência de caminho, em que estados atuais e futuros dependem do

caminho de estados anteriores. Sistemas complexos são aninhados e abrangem vários níveis organizacionais, e têm propriedades emergentes - isto é, estruturas de nível superior surgem da interação entre nível inferior de componentes (ROTMANS; LOORBACH, 2009).

Foram encontradas dez características que são sistematicamente citados pela literatura nos trabalhos de Alves (2013), Cha (2016) e Morin (2005):

- a) Emergência: resultados não intencionais, um fenômeno é emergente quando surge como solução da interação entre seus agentes;
- b) Transições de Fase: alterações nos dados estatísticos de um sistema, conforme mudanças em parâmetros de controle, podendo ser contínuas ou descontínuas;
- c) Universalidade: detalhes do comportamento dos membros de um sistema complexo frequentemente não são importantes para o comportamento médio;
- d) Adaptabilidade: capacidade de modificar o próprio comportamento de acordo com mudanças no ambiente;
- e) Auto-referência: sistemas complexos, em particular sistemas socioeconômicos, respondem aos resultados de suas próprias ações;
- f) Auto-organização: interações locais produzem ordem em escala sistêmica;
- g) Imprevisibilidade: o comportamento de um sistema complexo pode ser imprevisível, mesmo quando regido por equações;
- h) Redes Complexas: sistemas complexos mostram padrões de interação que não são inteiramente regulares ou irregulares. As redes de relações se auto-organizam localmente, de forma aleatória com uma certa ordenação global. Redes complexas possuem alguns poucos nós com muitas conexões e diversos outros com poucas conexões;
- i) Causas múltiplas, efeitos não lineares e retroalimentação: em geral as causas são múltiplas e interativas entre si, onde mudanças em uma causa pode causar grandes variações em outras, além dos efeitos serem retroalimentados em causas futuras;
- j) Invariância em Escala: padrões complexos podem ser obtidos pela aplicação repetida de regras simples em escalas diferentes (temporais ou espaciais).

A teoria da complexidade estuda a emergência, processo em que os resultados das interações entre os agentes de um sistema são em grande parte não intencionais. Além da interação entre os membros que ocorrem em ciclos de *feedback*, desta forma ações individuais podem dar origem a reações em outras partes em momentos posteriores, alterando as condições sob as quais os primeiros indivíduos tomaram as decisões, gerando-se uma imprevisibilidade (BAR-YAM, 1997).

Sistemas complexos exibem comportamentos emergentes em nível macro que emergem das ações e interações dos agentes individuais. A estrutura e o comportamento de um sistema complexo não são facilmente deduzidos ou inferidos apenas da estrutura e do comportamento de seus componentes. Em vez disso, as interações entre as partes são importantes, e podem dominar a estrutura e o comportamento do sistema complexo (SHEARD; MOSTASHARI, 2009).

Sistemas sustentáveis são complexos, eles exibem tanto detalhes quanto complexidade dinâmica, na verdade eles representam uma forma de Sistemas Adaptativos Complexos porque envolvem múltiplos setores e agentes exibindo comportamentos interagentes não-lineares e não-rationais caracterizados por *feedbacks* e defasagens temporais. (DEMARTINI; TONELLI; BERTANI, 2018)

Sistemas adaptativos complexos são, conforme Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2017), redes de agentes adaptativos que emergem ao longo do tempo em formas coerentes por meio da interação, sem qualquer entidade singular ou mecanismo de controle central deliberadamente gerenciando o sistema como um todo. Esses sistemas são “adaptativos” porque são capazes de mudar com o tempo, criando novas formas de ordem emergente que consistem em novas estruturas e padrões, a fim de aumentar sua adequação ao ambiente. A adaptação é possível graças à auto-organização, de fato, a nova ordem surge das interações autônomas entre os agentes, que não são impostas externamente ao sistema.

Sistemas adaptativos complexos são casos especiais de sistemas complexos. Expresso de forma diferente, eles são capazes de responder e de se ajustar às mudanças que ocorrem em seu ambiente. O que torna um sistema adaptativo complexo especial é o conjunto de relacionamentos não lineares em constante adaptação. Os sistemas adaptativos complexos contêm objetos especiais - agentes que interagem entre si e se adaptam a outros agentes e mudam as condições. É por isso que sistemas adaptativos complexos têm características únicas, como co-evolução, emergência e auto-organização (ROTMANS; LOORBACH, 2009).

A emergência pode ser definida como o surgimento de estruturas, padrões e propriedades novas e coerentes durante o processo de auto-organização em sistemas complexos. A auto-organização, como já explicitada, é um processo no qual a organização interna de um sistema complexo aumenta sua complexidade sem ser guiada ou gerenciada por uma fonte externa (ROTMANS; LOORBACH, 2009).

As propriedades do sistema adaptativo complexo de acordo com Romero e Ruiz (2013) são descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Descrição das propriedades do sistema adaptativo complexo

<b>Propriedade</b>	<b>Descrição</b>
Sistema aberto	O sistema realiza trocas infinitas de material, energia e informação com seu ambiente.
Relações não lineares	O comportamento dos elementos não obedece a leis lineares ou preditivas, portanto o comportamento do sistema não é intuitivo.
Emergência	O comportamento do sistema emerge dos padrões comportamentais individuais e das interações entre seus elementos.
Adaptabilidade	O sistema se adapta a mudanças nas distorções do ambiente ao redor e nas mudanças em sua estrutura interna, como modificações de fluxo.
Auto-organização	Um processo dinâmico e adaptativo onde os sistemas adquirem e mantêm a estrutura, sem controle externo.
Incerteza	Isso decorre de relacionamentos não-lineares, auto-organização do sistema e ações individuais dos elementos para atingir seus próprios objetivos.
Hierarquia de ambiente	O sistema é desenvolvido em uma configuração que tem uma ordem hierárquica. Essa configuração condiciona a operação e os relacionamentos.

Fonte: Romero e Ruiz (2013).

Um sistema simbiótico funciona como um sistema complexo adaptativo, ele é dinâmico e processa *feedbacks* positivos e negativos, assim como adaptações para mudanças impostas pelo ambiente externo. As partes pensam em redução de custos e aumento dos lucros, porém participam na criação de benefícios ambientais globais e públicos (CHERTOW; EHRENFELD, 2012).

A SI não age de forma isolada, mas sim influencia o externo e é influenciada por ele. O sistema é aberto e possui incertezas e comportamentos complexos, é uma rede dinâmica com interações de vários agentes e com um comportamento coletivo. Há colaboração entre os agentes, porém cada um possui suas particularidades. Cada relacionamento gera acordos e aumenta o nível de confiança, o que leva a uma tomada de

decisão subjetiva entre as partes, deixando o sistema complexo e adaptativo (ROMERO; RUIZ, 2013).

Uma grande parte da literatura de acordo com Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2017) reconhece redes de SI auto-organizadas como sistemas adaptativos complexos. Estes são redes de agentes que emergem ao longo do tempo em formas coerentes por meio da interação, sem qualquer entidade singular ou mecanismo de controle central deliberadamente gerenciando o sistema como um todo. A adaptabilidade desses sistemas depende de sua capacidade de mudar ao longo do tempo, criando novas formas de ordem emergente que consistem em novas estruturas e padrões. Essas mudanças não são impostas externamente ao sistema, mas são devidas à auto-organização dos agentes, capazes de interagir autonomamente entre si, a fim de aumentar sua adequação ao ambiente.

Enquadrar as redes de SI como complexas e adaptativas significa que elas são o resultado de um processo auto-organizado, onde qualquer empresa genérica toma autonomamente a decisão de estabelecer relações de SI com outras empresas sem qualquer planejamento deliberado por uma entidade central, visando aumentar seu desempenho econômico e ganhar vantagem competitiva (Ashton, 2011; Lyons, 2007).

Como as empresas estão envolvidas em um ambiente dinâmico externo, as redes de SI auto-organizados de longo prazo devem responder constantemente a perturbações externas (CHOPRA; KHANNA, 2014; FRACCASCIA; GIANNOCCARO; ALBINO, 2017). Quanto mais dinâmico é o ambiente, mais frequentes são as flutuações nas quantidades dos resíduos produzidos e dos insumos necessários ao longo do tempo, dificultando, assim, a correspondência entre a demanda e a oferta de resíduos (Lou et al., 2004).

As redes simbióticas são sistemas complexos adaptativos onde a auto-organização de seus agentes possui papel crucial. Estes lidam com externalidades negativas e positivas que são criadas coletivamente, mesmo sem consciência dos agentes, mas com um processo de descoberta que torna a realização consciente. Há o enriquecimento de normas de troca e elementos da cultura para incluir o meio ambiente como um processo institucional, necessitando de coordenação e facilitação conforme a evolução do sistema (CHERTOW; EHRENFELD, 2012).

Para Taddeo et al (2017) as Redes de SI são consideradas como “sistemas adaptativos complexos”, pois podem surgir de diferentes maneiras e evoluir ao longo do tempo usando sua resiliência. Uma rede de SI pode incorporar diferentes soluções; pode

dependem de entidades novas ou existentes e pode evoluir de maneira planejada, facilitada ou espontânea. As relações de troca são frequentemente ativadas a partir de uma base de relações sociais, que encontram força na confiança e nos elementos culturais. Alguns agentes envolvidos desempenham um papel decisivo na definição do sucesso do SI. Com o tempo, algumas formas de intercâmbio e outros elementos e valores culturais são progressivamente incorporados pelos participantes, fortalecendo assim a consciência de seus propósitos iniciais.

### 2.2.7. Indicadores para analisar o desenvolvimento da SI

Para avaliação do sistema com SI e sua evolução, alguns indicadores devem ser estipulados e monitorados. Trokanas, Cecelja e Raafat (2015) propõe medir a quantidade de material virgem salvo, Felicio et al (2016) apresentam um indicador de SI que calcula a relação entre a quantidade de resíduos circulantes e a quantidade de resíduos de saída, cada qual multiplicado pelo seu impacto ambiental momentâneo, este último é igual ao fluxo de material (quantidade) vezes o impacto do resíduo (qualitativo).

Mantese e Amaral (2016) apresentam um conjunto de indicadores encontrados na literatura para análise e avaliação da SI em um sistema, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Principais indicadores para SI

Indicador	Fórmula	Descrição
Conectância e utilização simbiótica (HARDY; GRAEDEL, 2002)	$C = \frac{2L}{S(S-1)}$ <p>C: conectância L: número de ligações S: número de agentes</p> $U = \sum_{i=1}^n MiHi$ <p>U: utilização simbiótica n: número de ligações M: fluxo de massa H: perigo potencial de cada material</p>	Calcula o grau de associação entre os membros de um EIP. Baseia-se em ligações, número de empresas e fluxos. A conectância varia de 0 a 1, quanto maior melhor. A utilização simbiótica varia de 0 a infinito, quanto maior melhor também.
Eco-conectância e taxa de reciclagem de resíduos e subprodutos (TIEJUN, 2010)	$Ce = \frac{Le}{S(S-1)/2}$ <p>Ce: eco-conectância Le: ligações presentes S: número de agentes</p> $Cr = Ce * rL$ <p>Cr: taxa de reciclagem</p>	Calcula o grau de associação dos membros e a taxa de reciclagem. Utiliza a taxa de reciclagem de cada empresa, as ligações realizadas e o número de empresas. Estes indicadores variam de 0 a 1. Quanto maior o valor, melhor.

Indicador	Fórmula	Descrição
	Ce: eco-conectância rL: taxa média de reciclagem de resíduos por ligação	
Densidade de <i>link</i> e Índice de Simbiose Industrial (ZHOU et al, 2012)	$ISIdex = \frac{\text{Links simbióticos}}{\text{Total de links}}$ <p>ISIdex: Índice de simbiose Industrial</p> $\text{Densidade de links} = \frac{\text{Links totais}}{\text{Número de empresas}}$	Averigua a intensidade de utilização de recursos e associação de empresas. Considera os números de ligações, os que são simbióticos e o número de empresas. Ambos variam de 0 a 1 para o índice e de 0 a infinito para a densidade, sendo quanto maior, melhor.
Eco-eficiência (BEHERA, 2014)	$\text{Eco-eficiência} = \frac{EL}{EN}$ <p>EL: Benefícios econômicos conquistados com as trocas simbióticas;</p> <p>EN: representação da influência ambiental com todos os indicadores ambientais.</p>	Avaliar a eficiência ecológica do sistema. Considera os benefícios e os impactos. Quanto maior o resultado, melhor.
Índice de produtividade de recursos (WEN; MENG, 2015)	$RP = \frac{\sum IAV}{\sum DMI}$ <p>RP: Índice de produtividade de recursos</p> <p>IAV: Valor industrial adicionado</p> <p>DMI: Entrada direta de materiais no sistema.</p>	Avaliar a contribuição da SI para o sistema circular. Avalia a produtividade, adição de valor e recursos que entram no sistema. Quanto maior o valor, melhor.
Impacto ambiental (TROKANAS et al, 2015)	Somatória de diversos indicadores ambientais e financeiros.	Avalia os impactos financeiros e ambientais da SI.
Indicador de SI (ISI) (FELICIO et al, 2016)	$ISI = \frac{EIMi}{(1 + EIMo)}$ <p>EIMi: quantidade de impacto circulante</p> <p>EIMo: Quantidade de impacto de saída</p>	Indica a evolução dos relacionamentos com SI no sistema. Considera os resíduos, impactos e trocas simbióticas. Varia de 0 a infinito, quanto maior, melhor.

Fonte: Adaptado de Mantese e Amaral (2016).

Holland (2006) aconselham propor indicadores para avaliar o sistema de SI para o sucesso, tais como taxa de água reutilizada, taxa de materiais reutilizados, taxa de descarte e densidade de relacionamentos. Romero e Ruiz (2014) propõe cinco indicadores para avaliar um sistema de SI: índice de densidade de relacionamentos, sendo calculado

pelo número total de cooperações dividido pelo número total de empresas no sistema; índice global de lucro econômico, envolve a somatória dos ganhos obtidos através das colaborações dividido pela somatória dos ganhos obtidos de empresas isoladas; índice de impacto ambiental global de resíduos, como a somatória de desperdícios gerados por empresas com cooperação dividido pela somatória de desperdício de empresas isoladas; índice de impacto ambiental, calculado pela soma dos recursos consumidos e resíduos gerados em relação de cooperação dividido pela soma dos recursos consumidos e resíduos gerados nas empresas isoladas; e índice de medida global de performance sustentável sendo o segundo indicador dividido pelo quarto.

### **2.3. Métodos de projeto para si**

Para cumprir o objetivo deste trabalho foi necessário realizar uma busca na literatura sobre as estruturas criadas em contextos diversos que consideraram desenvolver e favorecer os aspectos de SI no planejamento ou projeto da SI.

Estes foram agrupadas conforme sua característica mais relevante para a ocorrência da SI. A primeira foi o contexto brasileiro e de agronegócio, a segunda foram aquelas que consideraram o projeto de forma mais geral, com passos ou etapas, com coleta de dados, análise e proposta de implantação. Em terceiro estão aqueles que focaram na engenharia, como a de sistemas e ferramentas específicas, além de considerar conceitos de projeto no método. O quarto grupo centraliza-se na análise dos fluxos pertencentes ao sistema e o quinto grupo, considerado analítico, foca no aspecto social de como ocorre a relação entre os atores.

#### **2.3.1. Contexto no agronegócio brasileiro: projeto GERIPA**

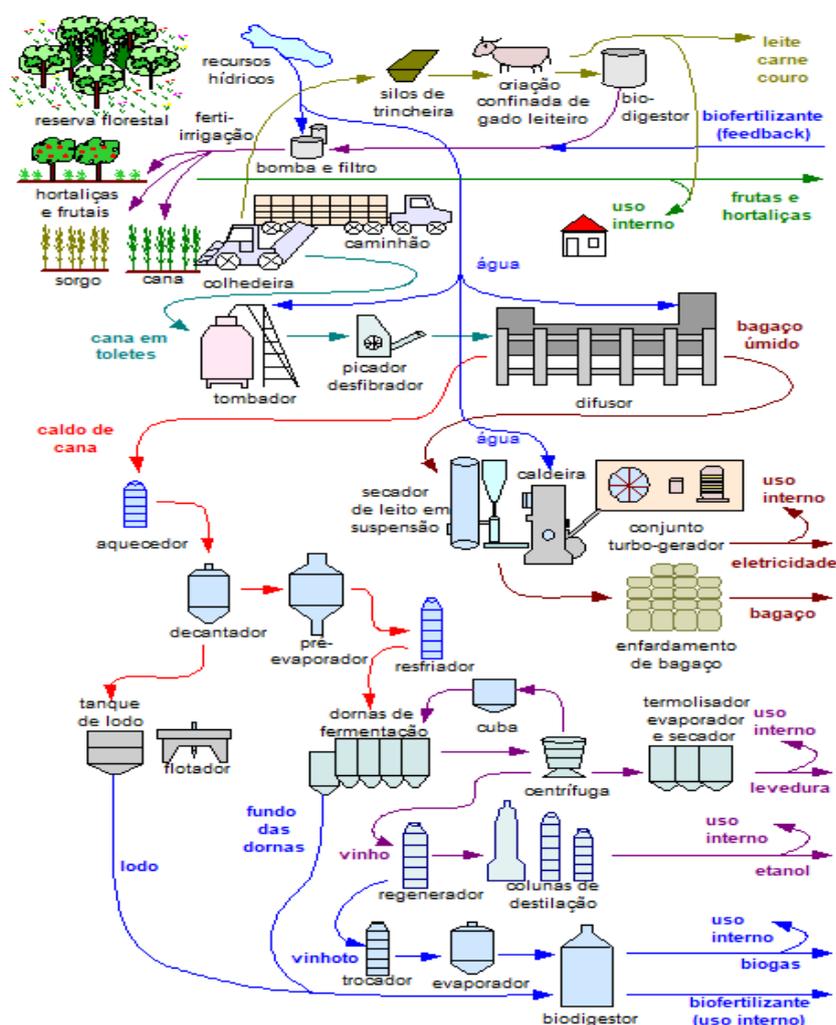
Para desenvolver a SI no Brasil, Ometto, Ramos e Lombardi (2007) comentam da relevância em se estudar o ciclo produtivo do álcool, o qual possui impactos ambientais e sociais, tais como a exploração de trabalhadores, queimadas, usos de pesticidas e erosão. Para otimizar este sistema produtivo foi concebido um projeto de SI com poligeração e integração das etapas produtivas, chamado de GERIPA (Geração de energia renovável integrada à produção de alimentos), este busca a produção de combustíveis renováveis, eletricidade e comida orgânica.

Sistemas integrados e pequenos distribuídos ao longo do país para o complexo industrial de açúcar e álcool. São sugeridos cerca de 4310 ha, com divisão entre cultivo

de cana-de-açúcar com 1.589 ha, cultivo de sorgo rotacionado com outras frutas e plantio de alimentos com 1812 ha, criação de gado semi confinado com 188 ha, 930 ha para reserva florestal, 6 ha para indústrias e 35 ha para outros usos gerais (OMETTO; RAMOS; LOMBARDI, 2007).

Neste sistema o gado é alimentado com pontas da cana-de-açúcar e sementes do sorgo, a produção de açúcar e álcool gerará resíduos que serão utilizados na alimentação do gado e adubação da terra para o cultivo, além da geração de energia a partir do uso do bagaço, como mostrado na Figura 10 (OMETTO; RAMOS; LOMBARDI, 2007).

Figura 10 - Representação do sistema de projeto GERIPA



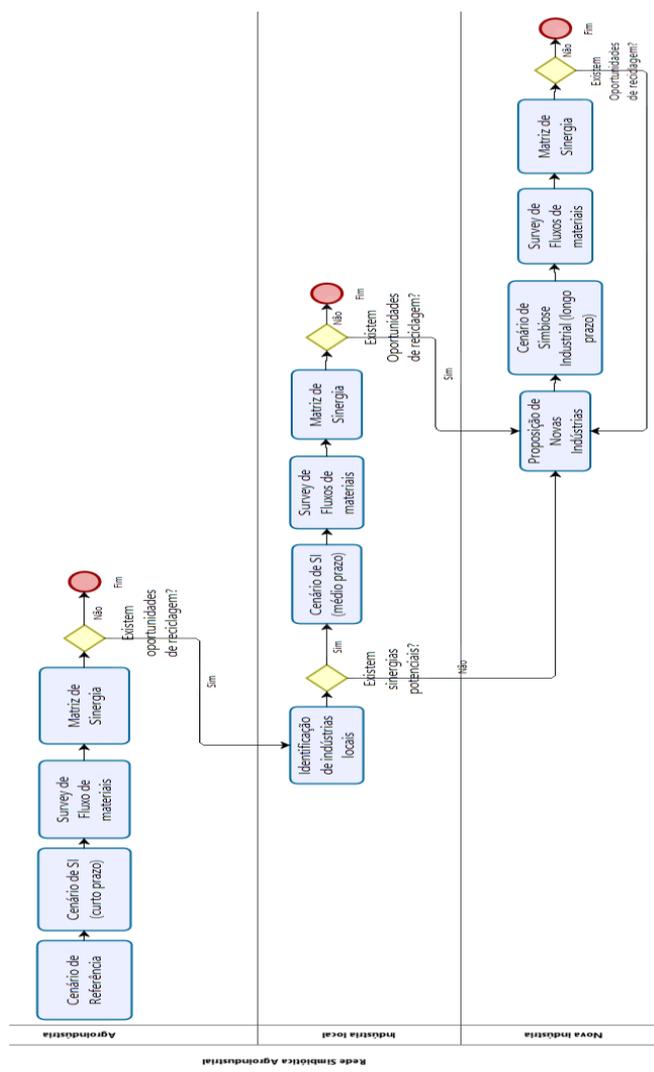
Fonte: traduzido de Ometto, Ramos e Lombardi (2004).

O método apresentado por Santos e Magrini (2018) desenvolve quatro cenários (referência, curto, médio e longo prazo) para o desenho de uma rede de SI agro. O cenário de referência é a linha de base da análise realizada, representa o cenário já existente, considerando os principais processos de produção, os destinos atuais dos fluxos e práticas de trocas de resíduos. O cenário de curto prazo compreende em adicionar agentes para o

sistema, como por exemplo uma biorefinaria, para usar todas as possibilidades de utilização de resíduos. Desta forma, novos destinos para alguns fluxos de resíduos são propostos para permitir a implantação dos novos membros (hipotéticos). O inventário dos fluxos de resíduos a curto prazo permite propor outros cenários. O cenário de médio prazo tem o potencial teórico para que esses fluxos de resíduos se tornem insumos para as indústrias que já operam na região e, no cenário de longo prazo, novos tipos industriais são sugeridos para fazer uso dos fluxos de resíduos remanescentes.

Estes cenários (referência, curto, médio e longo prazo) são construídos com o apoio de um levantamento dos fluxos de materiais. O procedimento apresentado na Figura 11 pode ser executado iterativamente, uma vez que para cada instalação adicional no sistema é provável que um novo conjunto de fluxos residuais seja gerado, causando complexidade cada vez maior na análise (SANTOS; MAGRINI, 2018).

Figura 11 - Fluxograma dos cenários



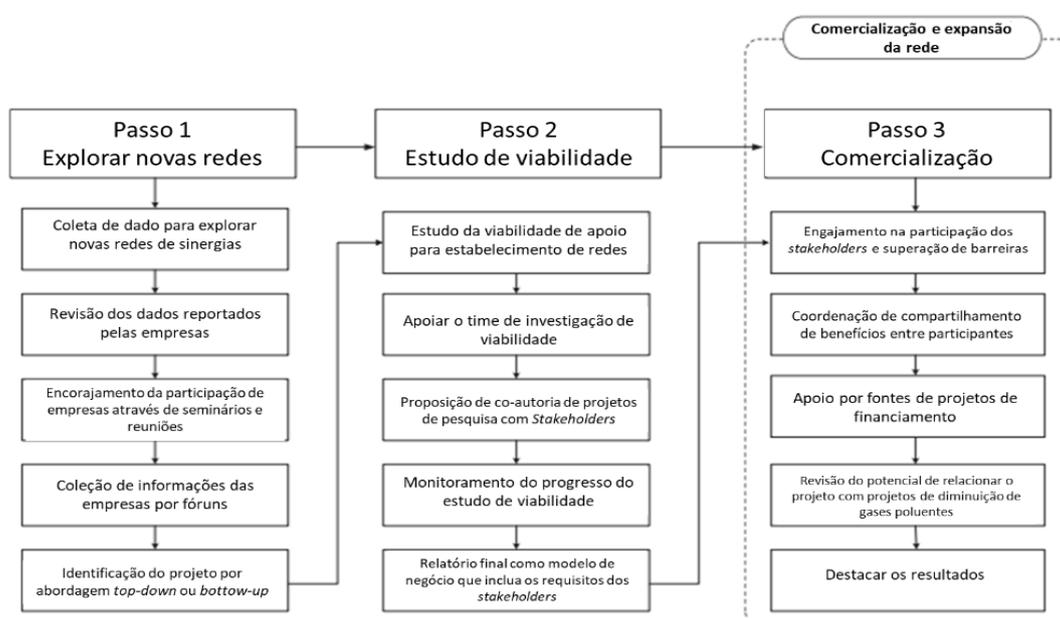
Fonte: Traduzido de Santos e Magrini (2018).

### 2.3.2. Passos gerais para a construção da SI

Estes métodos apresentam como característica principal a estruturação baseada em passos, colocando principalmente a identificação do sistema, a análise para desenvolver SI e a proposta de aplicação.

Para criar uma rede básica de SI em um dos principais ecoparques do mundo, o ULSAN EIP Center na Coreia do Sul utiliza do método R&DB - Research and Development into Business (Pesquisa e desenvolvimento em negócios) para desenvolver redes de SI. Behera et al. (2012) apresentam os passos e sua estrutura na Figura 12.

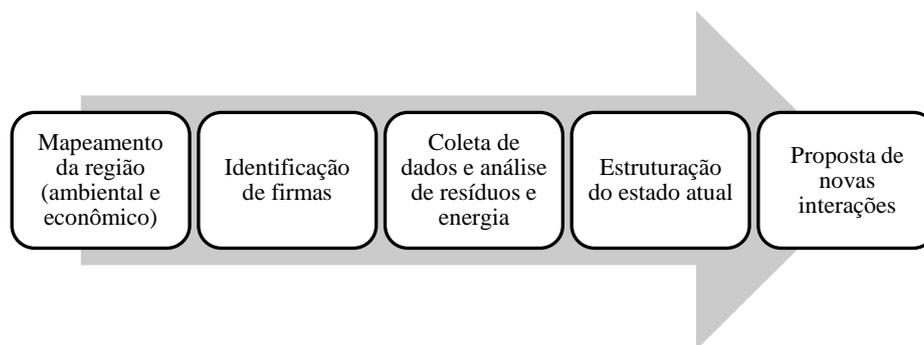
Figura 12 - Passos de Behera et al (2012)



Fonte: Behera et al. (2012).

Para melhorar um distrito industrial baseado na SI, Notarnicola, Tassielli e Renzuli (2016) fizeram um mapeamento e coleta de dados da região, ambiental e econômico, identificaram firmas importantes em termos econômicos e ambientais, analisaram os resíduos de materiais, analisaram a energia e aplicaram uma *survey* para maior coleta de dados, e por fim mostraram o estado atual e a proposta de novas interações. Para as trocas simbióticas cada resíduo foi estudado na literatura e caracterizados nos quais são recuperáveis ou descartáveis, e desta forma propuseram-se novos destinos. Para representar as etapas tem-se a Figura 13.

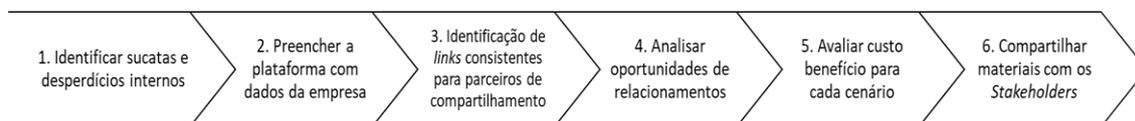
Figura 13 - Etapas para melhorar um distrito industrial com SI



Fonte: Elaboração própria.

Marconi et al (2018) criam uma abordagem para favorecer o desenvolvimento da SI, composta por seis etapas conforme a Figura 14, a qual utiliza uma plataforma web para coleta, armazenagem dos dados e análise de possíveis ligações.

Figura 14 - Abordagem para favorecimento da SI



Fonte: Traduzido de Marconi et al (2018).

O passo um da abordagem identifica sucatas internas e desperdícios das empresas interessadas em desenvolver SI para entender os fluxos dos materiais e suas origens. A segunda etapa permite a caracterização e a classificação das informações recuperadas em uma plataforma web devidamente elaborada para esse fim. Na plataforma, é possível iniciar a identificação de ligações consistentes em uma pesquisa de parceiros e analisar oportunidades de parceria (etapas três e quatro da abordagem) (MARCONI et al, 2018).

A identificação de ligações consistentes, é um pré-requisito para a criação de potenciais oportunidades de parceria e, portanto, de um modelo de SI. A formalização de ligações consistentes é baseada em diferentes variáveis, como setor de mercado, palavras-chave sobre entrada / saída de materiais, posição geográfica e distâncias entre empresas (MARCONI et al, 2018).

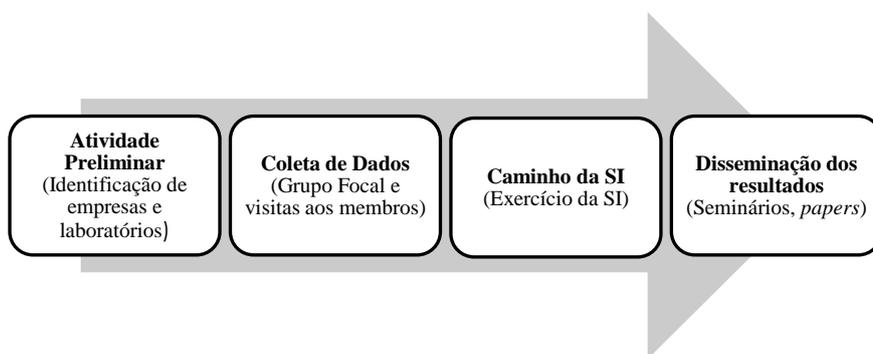
As empresas que apresentam correspondências únicas ou múltiplas com base nas entidades propostas são convidadas a entrar em contato e avaliar o possível compartilhamento de materiais ou recursos. A análise das diferentes oportunidades de parceria com diferentes partes interessadas (caso existir) é fornecida pela plataforma para tomada de decisão do agente (MARCONI et al, 2018).

Após encontrar as oportunidades, uma análise de custo-benefício é realizada para investigar diferentes cenários de ciclo fechado. Entre eles, a plataforma destaca os que apresentam os benefícios mais relevantes em termos de lucros econômicos (etapa cinco). Dessa maneira, a abordagem proposta incentiva não apenas novas parcerias comerciais, mas também permite identificar as mais lucrativas (MARCONI et al, 2018).

Por fim, após a validação do modelo de negócios, as empresas podem iniciar a colaboração com outras empresas e, assim, desenvolver praticamente o cenário de simbiose industrial desejado (etapa 6) (MARCONI et al, 2018).

Iacondini et al (2015) aplicam uma abordagem baseada em 4 passos (Figura 15), o passo 1 sendo a atividade preliminar com identificação das empresas e laboratórios para identificar e estudar padrões de simbiose, além de classificar as empresas em três tipos, *upstream* quando geram os resíduos ou subprodutos, *processors* quando processam os resíduos gerados em materiais utilizáveis novamente e *downstream* quando utilizam os materiais reprocessados. O passo dois é a coleta de dados, com visitas de grupos focais aos laboratórios e empresas para entender as entradas e saídas. O passo 3 envolve o exercício de SI com identificação e realização de interações entre membros e o passo quatro dissemina os resultados a comunidade e *stakeholders*.

Figura 15 - Passos de Iacondini et al (2015)



Fonte: Elaboração própria.

### 2.3.3. Metodologias com aspectos de engenharia e projeto

Sopha et al. (2010) aplicam o conceito de engenharia de sistemas para desenvolver uma estrutura para modelar a SI considerando cinco fatores importantes para a sustentabilidade deste modelo e dos relacionamentos a serem criados. São eles: fator tecnológico, onde as trocas devem ser viáveis em termos físicos, químicos e espaciais; fator econômico, o qual diz que as trocas devem ser economicamente viáveis e sem risco; fator político, onde deve-se respeitar as normas, leis e regulações ambientais e fiscais;

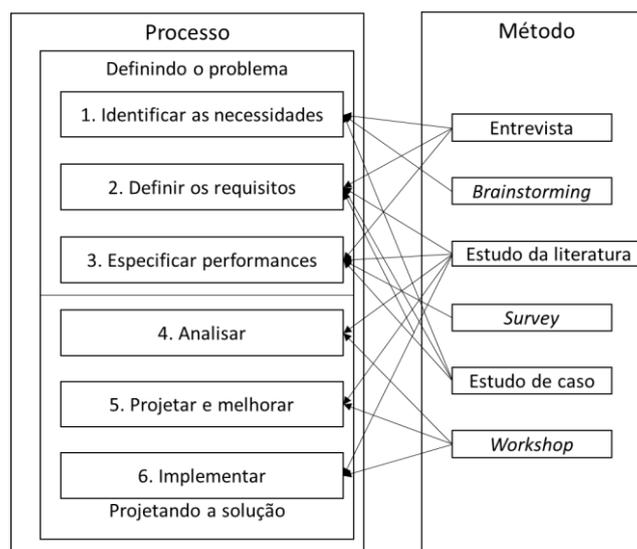
fator informacional, diz que as pessoas certas devem ter as informações necessárias no tempo certo; fator organizacional, onde as trocas devem respeitar questões corporativas, confiança, interação, proximidade, localidade, poder de decisão, interações e aspectos sociais.

O modelo proposto por Sopha et al. (2010) é mostrado na Figura 16, onde o processo é dividido em processo da engenharia de sistemas e os métodos correspondentes.

Na estrutura apresentada por Sopha et al. (2010) tem-se 6 etapas, divididas em duas partes, definição do problema e desenvolvimento da solução com três etapas cada. Os métodos são ligados as respectivas fases, sendo estes qualitativos:

- a) Etapa 1: Identificação da necessidade. Define-se o escopo do projeto, as questões de análise e os limites do sistema, identifica-se os elementos do sistema que influenciam no projeto e como métodos tem-se entrevistas, brainstorming e estudo de campo;
- b) Etapa 2: Definição dos requisitos: aqui as necessidades são transformadas em requisitos, que podem ser questões investigativas, além de considerar que o modelo deve ser fisicamente capaz de representar o sistema realisticamente, informar os *stakeholders*, apto para incluir cenários e barreiras. Aqui utiliza-se estudo da literatura, *survey* e estudo de campo;
- c) Etapa 3: Especificar performance. Define-se os indicadores para responder aos requisitos e qual a performance desejada. Analisa-se os indicadores, e determina-se as variáveis que influenciam o caso. Utiliza-se revisão da literatura, entrevistas, estudo de campo e *survey*;
- d) Etapa 4: Análise. Obtêm-se quais os processos que direcionam a performance. Define-se um modelo geral, com elementos, respectivos relacionamentos e um modelo conceitual. Os relacionamentos são analisados com auxílio da literatura ou de experts. O modelo é alcançado com entrevistas e discussões e o modelo ótimo é obtido. Usa-se *workshop* e revisão da literatura também;
- e) Etapa 5: Projeto e melhorias. Formulação e formalização são realizadas, relações lógicas, matemáticas e teóricas entre variáveis são estabelecidas e o passo é conduzido até que os *stakeholders* concordem;
- f) Etapa 6: Implementação. Testes são conduzidos e experimentos listam os procedimentos e parâmetros usados para atingir os objetivos.

Figura 16 - Estrutura para modelar a SI baseado na teoria de sistemas



Fonte: Traduzido de Sopha et al. (2010).

Lange et al (2017) apresentam um método para projeto de SI baseado nos conceitos de Design Science para redes de agricultura urbanas simbióticas. Quatro conceitos-chave desempenham um papel fundamental na Design Science: Contexto, Intervenções, Mecanismos e Resultados (CIMO). Uma explicação destes conceitos chave é dada no Quadro 4 apresentado por Lange et al (2017).

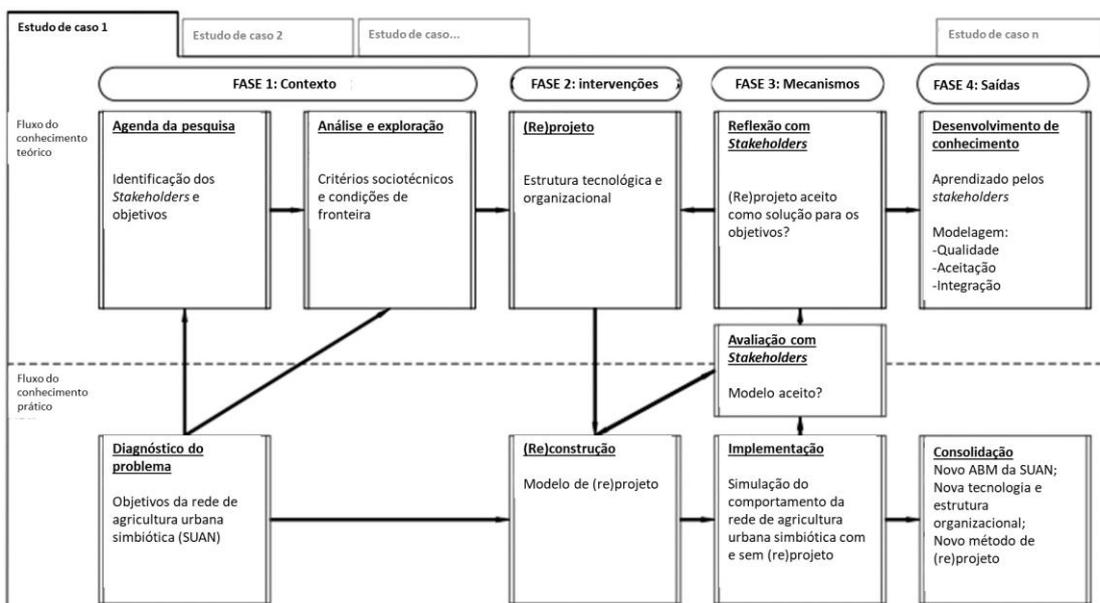
Quadro 4 - quatro conceitos-chave da Design Science aplicados a SI

Conceito	Explicação
Contexto	Fatores técnicos, econômicos, geoespaciais e institucionais internos e externos e a natureza dos atores humanos, que influenciam na transformação comportamental do sistema sócio-técnico.
Intervenções	Intervenções que estão dentro do poder dos participantes do projeto, o que significa influenciar a mudança comportamental do sistema sócio-técnico.
Mecanismos	Mecanismos que são provocados pela intervenção de design no contexto específico. Por exemplo, mudanças no comportamento de interação entre agentes ou mudanças nos estados intermediários, que influenciam o curso dos eventos.
Resultado	O resultado da intervenção em seus aspectos (intencionais e não intencionais), como influência no impacto ambiental, mudanças na estrutura da rede ou mudanças no desempenho em termos de função da rede. Geralmente o resultado esperado é criar valor através da SI.

Fonte: Traduzido de Lange et al (2017).

A metodologia conceitual proposta por Lange et al (2017) mostra que o desenvolvimento de conhecimento genérico é alcançado por meio de uma análise de estudo de múltiplos casos iterativa. Cada guia representa um único estudo de caso, no qual a metodologia de pesquisa de design é aplicada. No modelo, a lógica CIMO é representada em todas as fases, como mostrado na Figura 17.

Figura 17- Modelo de fases de Lange et al (2017)



Fonte: Lange et al (2017).

Lange et al (2017) em seu método traz a lógica CIMO, como descrita no Quadro 9, numa interação entre o fluxo de conhecimento prático e teórico, de diversos estudos de caso para obter a geração de um modelo satisfatório, uma nova tecnologia ou estrutura e um projeto ou reprojeto satisfatório, além da geração de conhecimento pelos *stakeholders*.

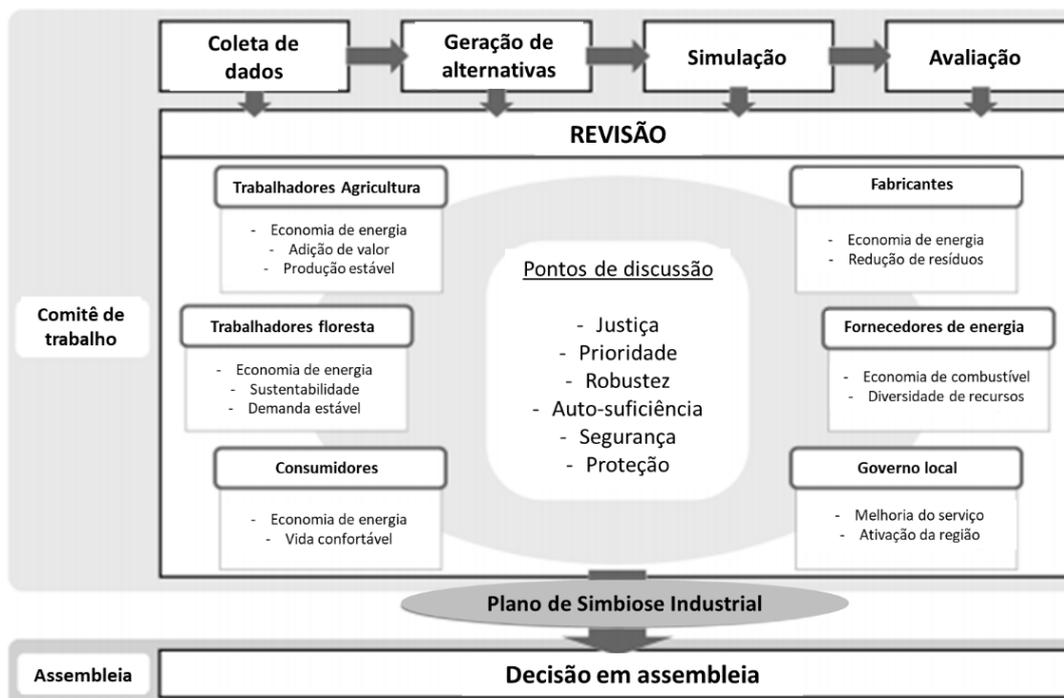
Lange et al (2017) foca principalmente na relação entre teoria e prática, sendo a primeira fase composta pela agenda, análise do ambiente e diagnóstico do problema. A fase dois realiza o projeto da estrutura tecnológica e organizacional com a construção de um modelo. Na fase três busca-se a aceitação do modelo com os *stakeholders* e a simulação do novo cenário. A fase quatro são as saídas do projeto, com o aprendizado, o modelo, a estrutura e o método adequado à situação.

Segundo Lange et al (2017) as atividades de design podem ser executadas principalmente por partes interessadas independentes (por exemplo, na auto-organização), facilitadores (por exemplo, institutos de conhecimento, facilitadores governamentais ou privados) ou planejadores externos (por exemplo, comando e controle governamentais). A fim de fornecer regras de intervenção de projeto empiricamente fundamentadas no contexto da dinâmica de SI.

Kanematsu, Okubo e Kikuchi (2017) propõe o planejamento da SI em áreas rurais a partir de quatro etapas, coleta de dados, geração de alternativas, simulação e avaliação. As quatro devem estar em constante revisão e são influenciadas pelos *stakeholders*

(trabalhadores, consumidores, empresas, estado e fornecedores) e por qualidades que devem aparecer num sistema de SI, conforme Figura 18.

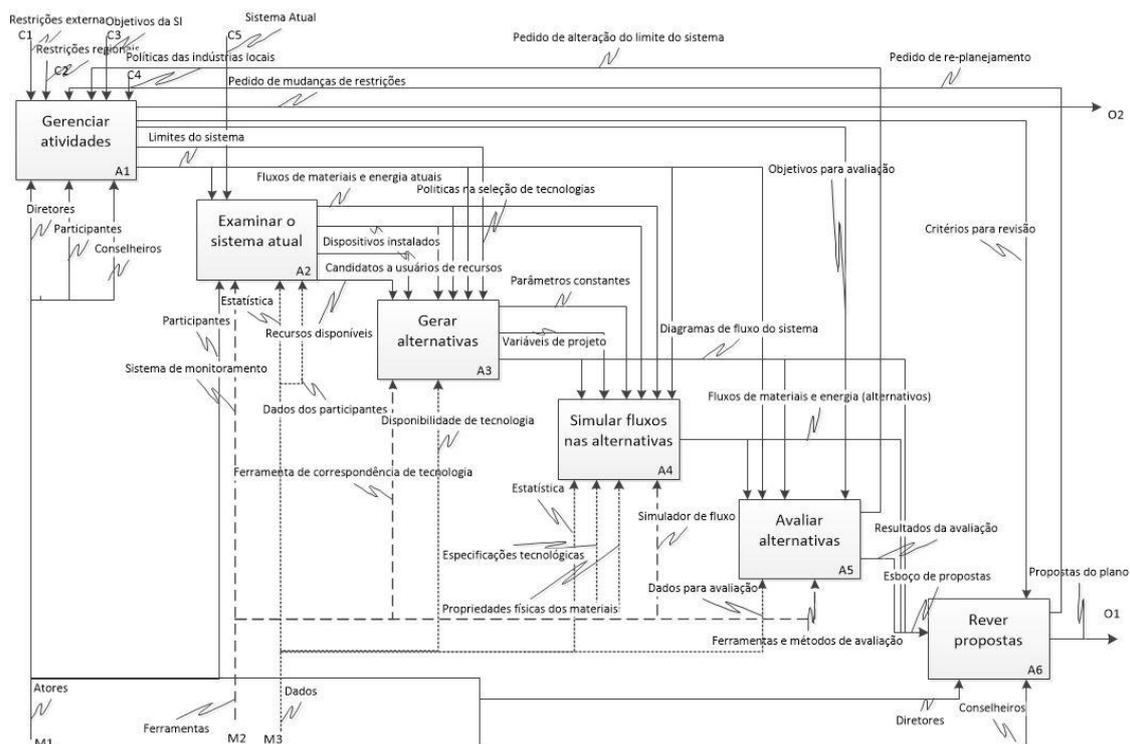
Figura 18 - Atividades para planejar SI



Fonte: Kanematsu, Okubo e Kikuchi (2017).

Kanematsu, Okubo e Kikuchi (2017) realizaram uma modelagem das atividades que compõe a SI no caso analisado por eles, o meio rural. Neste há seis etapas, gerenciar atividades, examinar o sistema atual, gerar alternativas, simular fluxos das alternativas, avaliar alternativas e rever propostas. Cada uma destas atividades possui saídas, entradas, controles e mecanismos. Os controles são restrições do ambiente, objetivos da SI e políticas das empresas conforme o estado atual, já para mecanismos tem-se os dados, as ferramentas usadas e atores envolvidos. Esta estrutura pode ser vista na Figura 19, onde tem-se duas saídas principais, que são a proposta de plano para SI e pedido de alterações no sistema atual para comportar a mudança.

Figura 19 - Aplicação da IDF0 para SI



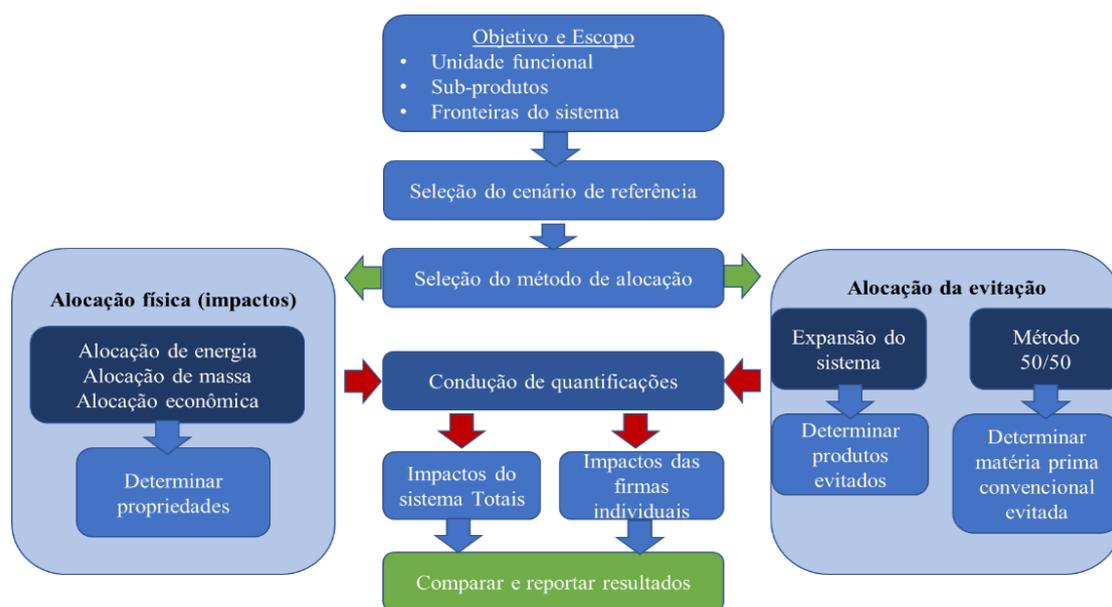
Fonte: Kanematsu, Okubo e Kikuchi (2017).

Seguindo os conceitos de engenharia e quantificação, Martin, Svensson e Eklund (2015) apresentam uma abordagem para quantificar a performance ambiental da rede de SI baseado na literatura de análise do ciclo de vida como na Figura 20. Para cada etapa explica-se o seguinte:

- Objetivo e escopo: associados com a saída esperada e ao contexto do estudo, bem como na definição dos objetivos;
- Unidade funcional: as unidades mais importantes do sistema, que são passíveis de comparação com outros sistemas;
- Limites do sistema: deve conter os fornecedores e clientes;
- Coleta de dados e categorias de impactos: dados atuais e representativos, categorias de impactos devem ser robustas e refletir emissões globais e locais com uso de materiais e energia;
- Seleção do cenário de referência: cenários ideias que motivem a SI, melhorem o sistema, mostre seus benefícios. Pode ser simulado com o ideal que pode acontecer, possíveis usos e otimizações;
- Distribuindo créditos e impactos na rede de SI: uso de resíduos para melhorar o sistema, tomada de decisão na resolução do problema, escolha de um método;

- g) Alocação física de impactos na rede de SI: divisão de impactos nos processos, pode ser energia, econômico, massa, emergia, divisão deste entre as empresas;
- h) Alocação da evitação na rede de SI: utiliza o método de expansão do sistema, resíduos substituem os produtos e os impactos são removidos do sistema. Por fornecer resíduo a outra empresa, esta ganha crédito. É a divisão dos benefícios conseguidos com a salvação de impactos ambientais no sistema;
- i) Visão 50/50 divide os impactos do tratamento do resíduo e os créditos entre as empresas (produtor e consumidor final);
- j) A abordagem termina com os impactos dos produtos individuais e com os impactos totais do sistema, para no fim concluir com comparação e reportagem dos resultados.

Figura 20 - Abordagem de Martin, Svensson e Eklund (2015)



Fonte: Adaptado de Martin, Svensson e Eklund (2015).

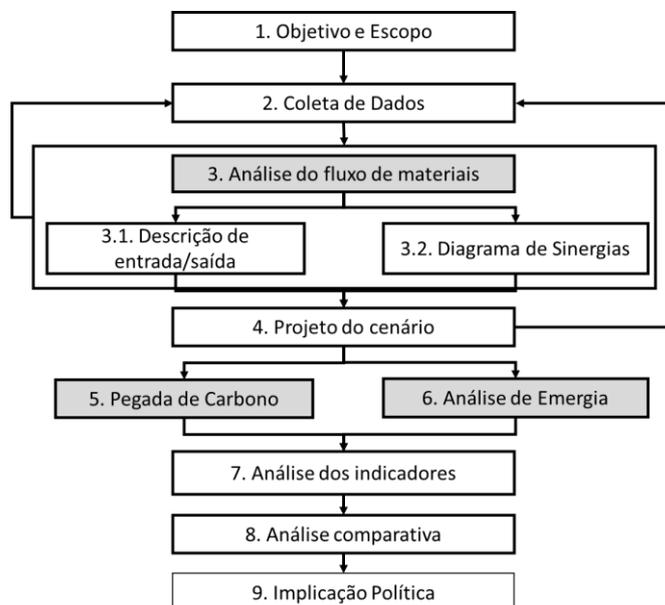
#### 2.3.4. Metodologias com foco na análise de fluxos

Ohnishi et al (2017) propõe uma abordagem que combina Análise do fluxo de materiais, Pegada de carbono e análise de emergia para identificar e analisar o sistema de SI de forma abrangente, como apresentado na Figura 21.

O modelo traz como etapa inicial a definição clara dos objetivos da análise, os limites temporais e geográficos e as unidades funcionais, além de definição do escopo do

modelo. Como passo dois tem-se a coleta dos dados do sistema, como as empresas, os processos, entre outros dados pertinentes ao objetivo, de forma precisa e fiel com uso de entrevistas e questionários OHNISHI et al (2017).

Figura 21 - Estrutura da abordagem de Ohnishi et al (2017)



Fonte: Traduzido de Ohnishi et al (2017).

Com os dados coletados pode-se elaborar a análise do fluxo de materiais, com entradas e saídas e o diagrama sobre as sinergias do sistema. A etapa seguinte consiste no projeto do cenário com a SI, identificando e desenvolvendo as trocas simbióticas e os possíveis compartilhamento de recursos. Para analisar a SI no sistema propõe-se dois métodos considerados pertinentes no estudo, pegada de carbono e análise de emergia OHNISHI et al (2017).

Para concluir o modelo, Ohnishi et al (2017) coloca a análise dos indicadores coletados, a análise comparativa entre cenários e o sistema real sem SI, e a implicação política para tornar os resultados encontrados em realidade.

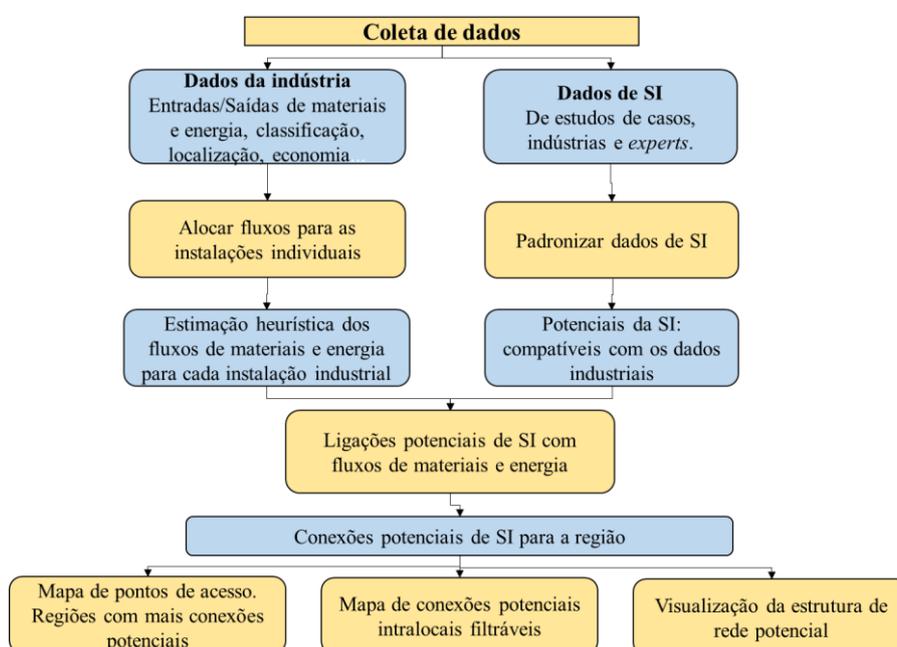
A SI para Aid et al (2015) pode ser facilitada, planejada ou auto organizada. Utiliza de duas ferramentas importantes análise do fluxo de matéria e avaliação do ciclo de vida.

Aid et al (2015) *Looplocal* é uma ferramenta que ajuda a simplificar a identificação de regiões suscetíveis para novas atividades de facilitação da SI, especialmente em países com indústrias geograficamente dispersas, possui marketing proativo pra potenciais trocas de atores chaves em regiões específicas, e ajuda os

facilitadores a avaliar as várias estratégias e metodologias consequentes de engajamento e análise adequadas para o desenvolvimento adicional de IS em regiões específicas.

O método, conforme a Figura 22, começa com a coleta de dados da indústria, dos atributos de cada empresa do sistema, e com uma revisão da literatura sobre SI ou conversa com profissionais com experiência nesta área. Segue com os fluxos dos recursos e uma padronização sobre classificações de resíduos e usos destes, além de levantamento de ferramentas. Depois faz-se as ligações simbióticas passíveis a curto prazo, levanta-se potenciais relacionamentos e constroem-se mapas para planejar conexões a médio e longo prazo (AID et al, 2015).

Figura 22 - Método de *Looplocal*



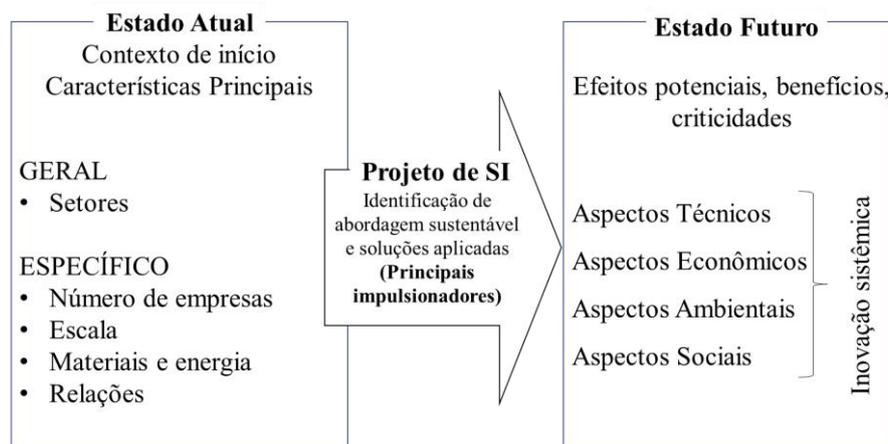
Fonte: Traduzida e adaptada de Aid et al (2015).

### 2.3.5. Metodologias analíticas de SI: foco no aspecto social

Simboli, Taddeo e Morgante (2014) desenvolvem um modelo analítico de três fases (Figura 23), com o estado atual, o projeto do cenário com SI e o estado futuro com a implementação.

No estado atual para Simboli, Taddeo e Morgante (2014) é realizado o estudo preliminar e a coleta de dados no local, envolve diretores no início do projeto, levantamento de Informação sobre as empresas, relacionamentos, processos produtivos, *inputs* e *outputs*. Resumindo, esta etapa busca as características gerais e específicas do local.

Figura 23 - Esquema do modelo de Simboli, Taddeo e Morgante (2014)



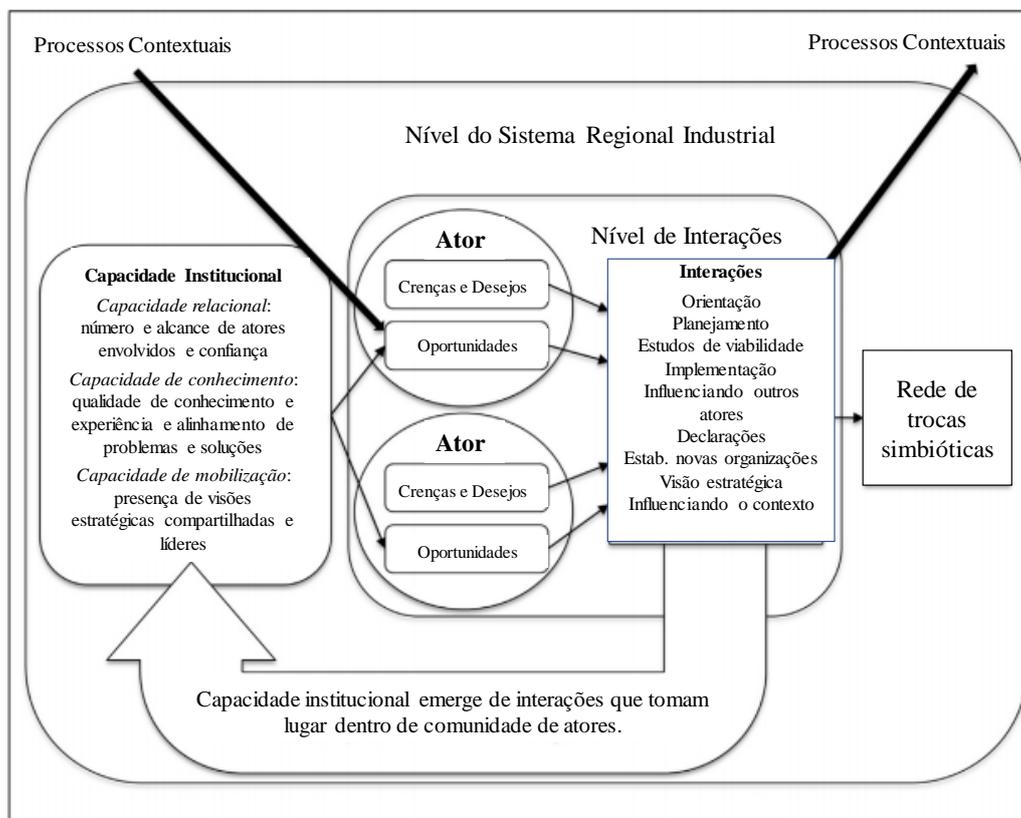
Fonte: Adaptado e traduzido de Simboli, Taddeo e Morgante (2014).

Simboli, Taddeo e Morgante (2014) falam que na segunda etapa são propostos cenários considerando os principais impulsores da SI, e produtos e relacionamentos diferentes.

No estado futuro são analisados os cenários as atividades que podem ser integradas as existentes, as atividades que requerem integração de duas ou mais empresas, as atividades com colaboração de todas, atividades com envolvimento do produtor final, atividades com envolvimento de externos, e criação de novas empresas. Determina-se os benefícios e criticidades do cenário proposto além de procurar favorecer os aspectos para a inovação sistêmica, a fim de conseguir aumento de eficiência e melhorias nas dimensões tecnológicas, organizacionais e socioeconômicas (SIMBOLI; TADDEO; MORGANTE, 2014).

Boons, Spekkink e Jiao (2014) e Spekkink (2016) elaboram uma abordagem para construção da capacidade institucional para desenvolvimento da SI, mostrado na Figura 24. A capacidade institucional é definida como a capacidade de uma comunidade de atores para se envolver em ações coletivas para lidar com questões de interesse comum. Dividida em três categorias, capacidade relacional que envolve a qualidade dos relacionamentos entre os atores como nível de confiança e número de empresas, capacidade de conhecimento que envolve qualidade de conhecimento e experiência dos membros para definição de problemas e soluções, e a capacidade de mobilização, sendo a capacidade para ação coletiva com visão estratégica compartilhada.

Figura 24 - Construção da capacidade institucional para desenvolvimento da SI



Fonte: traduzido de Boons, Spekkink e Jiao (2014)

Sobre as interações da estrutura conceitual, Spekkink (2016) traz que:

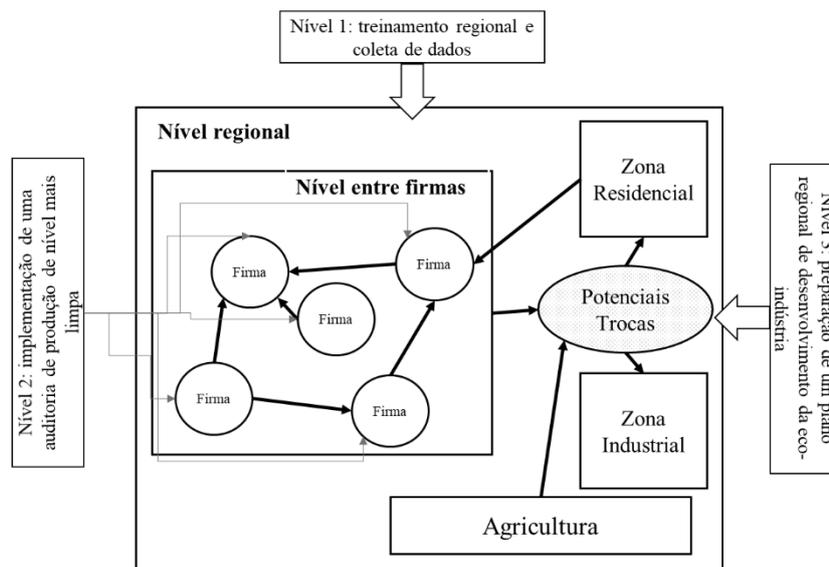
- Orientação: os atores analisam questões de interesse comum para desenvolver definições iniciais de problemas e soluções;
- Planejamento: os atores formulam os passos concretos a serem tomados para realizar certas soluções;
- Estudo de viabilidade: os atores realizam pesquisas sobre a viabilidade de certas soluções;
- Implementação: os atores implementam as soluções planejadas, o que inclui a implementação de trocas de subprodutos ou sinergias de serviços;
- Influenciando outros atores: os atores realizam atividades propositalmente destinadas a influenciar as oportunidades que outros atores vêm para diferentes cursos de ação;
- Declaração: os atores declaram sua intenção de agir sobre uma questão de interesse comum, possivelmente envolvendo declarações formais;
- Estabelecimento de novas organizações: os atores estabelecem uma nova organização dentro dos limites do sistema;

- h) Visão estratégica: os atores estabelecem visões estratégicas com interesses e objetivos comuns;
- i) Influenciando o contexto: os atores realizam atividades destinadas a influenciar seu contexto (político, econômico ou físico). Isso inclui ajustes na infra-estrutura para influenciar as políticas nacionais e estabelecer novas crenças, desejos e oportunidades.

A abordagem de três níveis (Figura 25) segundo Liu, Côté e Zhang (2015) é escrita da seguinte forma, (1) treinamento regional e coleta de informações (incluindo a identificação de relações simbióticas existentes), (2) implementação de uma auditoria de produção de nível mais limpa e (3) preparação de um plano regional de desenvolvimento da eco-indústria.

Liu, Côté e Zhang (2015) conseguiram três constatações com aplicação da abordagem de três níveis: empresas que aplicam produção mais limpa conseguem benefícios econômicos; e ambientais; e facilita a identificação de redes simbióticas na região e no local.

Figura 25 - Abordagem de três níveis



Fonte: Traduzido de Liu, Côté e Zhang (2015).

No nível um descreve-se o que se espera, (1) estabelecer organizações que assegurem que a abordagem seja implementada com êxito, (2) ajudar as pessoas da região local a entender o conceito de produção mais limpa, EI e EC, e (3) reunir as informações necessárias (LIU; CÔTÉ; ZHANG, 2015).

Na fase dois tem-se a implementação da produção mais limpa, identificação de potenciais oportunidades de trocas simbióticas para uso eficiente dos recursos, além de

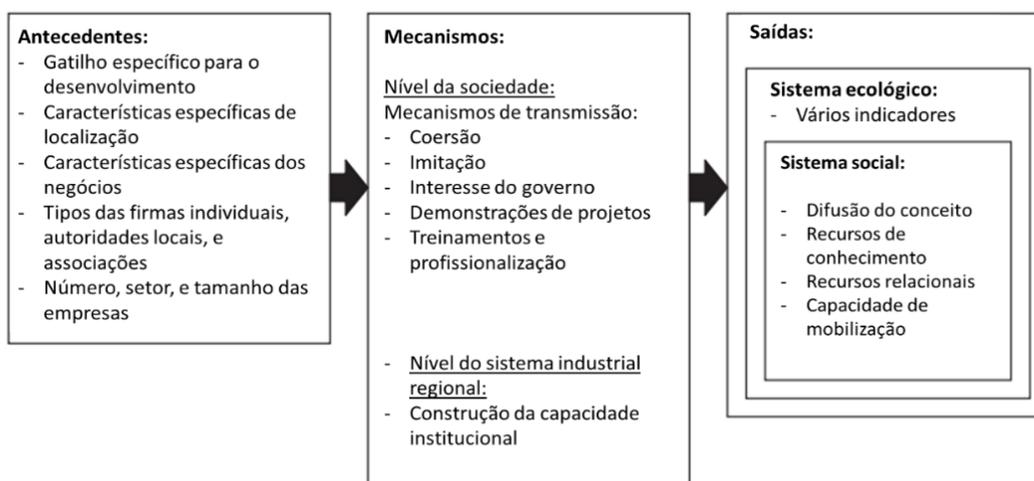
tomar decisão com a redução ou eliminação do resíduo ou uso por outra empresa. Para implementar uma auditoria de produção mais limpa para cada firma individual são sete estágios, planejamento e organização, pré-avaliação, avaliação, projeção da solução, implementação das soluções, análise de viabilidade, implementação das soluções e contínua produção mais limpa (LIU; CÔTÉ; ZHANG, 2015).

No nível três desenvolve-se as relações diretas, sem modificações do resíduo, ou com conexões com outras firmas que colem e modifiquem os materiais para uso posterior. Aqui verifica-se a estratégia de desenvolvimento da SI no nível entre firmas do sistema e internamente para depois abranger novas conexões no nível regional (LIU; CÔTÉ; ZHANG, 2015).

Na aplicação da abordagem de três níveis para SI Liu, Côté e Zhang (2015) obtiveram poucas pessoas com conhecimento em SI, foram necessárias novas empresas para o sistema e verifica-se a importância imprescindível da ajuda do estado e ONGs.

Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011) alegam que a compreensão dos fenômenos sociais é melhor avançada através do estudo de mecanismos. Estes são padrões causais e frequentes, desencadeados em condições desconhecidas e consequência indeterminadas. Os autores colocam vários mecanismos que esperam que ocorram na SI, um conjunto de condições que derivaram da literatura como antecedentes relevantes que afetam o funcionamento dos mecanismos, e os resultados desses mecanismos em termos de impacto ecológico, redes sociais e difusão de conceitos conforme apresenta a Figura 26.

Figura 26 - Estrutura conceitual da dinâmica de SI



Fonte: Traduzido de Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011).

### 2.3.6. Análise geral

O Quadro 5 possibilita a comparação dos *frameworks* apresentados em questões de classificação dos *frameworks*, objetivo do artigo de pesquisa, objeto de análise, ferramentas utilizadas, as etapas de cada *framework* proposto, o caso utilizado para aplicação no artigo e o foco do autor para seu *framework*, considerando o contexto ao qual este está envolvido, sua estratégia e objetivos.

Com a análise dos *frameworks* identificou-se que todos lidam com o desenvolvimento ou proposta de implementação de SI em um contexto específico. Cada artigo lidou com ferramentas e métodos diferentes, tais como o uso de plataformas *web*, a ferramenta de análise de fluxo de material e *survey* para coleta de dados (a qual apareceu em mais de um estudo). Todos os métodos utilizados respeitaram a ordem de mapear o sistema, seus agentes e consequentes resíduos para análise de sinergias.

Os casos analisados permearam locais delimitados por um parque industrial, por uma região ou cidade. Os focos de estudo foram concentrados em mapear a região de estudo, favorecer e desenvolver sinergias, com proposição de cenários futuros, por exemplo com a inclusão de uma biorefinaria, para obter sucesso da aplicação de SI.

Baseado no Quadro 5 é possível estabelecer nove etapas comuns aplicadas em todos eles para o desenvolvimento da SI em um sistema (Figura 27). Ressalta-se que a etapa três, coleta de dados, subentende-se o mapeamento das empresas e de seus resíduos, dos fluxos, materiais, energia, pessoas e informações.

Dois pontos importantes devem ser considerados nas etapas dois, três e quatro, o aspecto físico, considerando os resíduos a serem trocados simbioticamente e reutilizados e o aspecto social, com os relacionamentos entre os agentes, como parcerias e projetos integrados. O aspecto social traz o conceito de capacidade institucional de cada agente, como visto anteriormente, este conceito traz relações de confiança, resolução de problemas em conjunto e visão compartilhada pelos agentes do sistema com SI.

Quadro 5 - Comparação dos *frameworks* para projeto de SI

<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Objeto de análise</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Etapas</b>	<b>Caso</b>	<b>Foco</b>
Ometto, Ramos e Lombardi (2007)	Projeto	Projetar um sistema agroindustrial simbiótico para otimizá-lo através da poligeração e integração dos passos produtivos	Modelo agroindustrial ecológico e social GERIPA (Geração de energia renovável integrado a produção de alimentos)	Resultados econômicos, ambientais, sociais e de energia.	-	Teórico para o cenário brasileiro	Integração das atividades agroindustriais
Behera et al. (2012)	Framework – R&DB	Passos para desenvolver redes de SI dentro de um EIP	Parque ecológico industrial Ulsan EIP Center na Coreia do Sul	Redes de sinergias; Estudos de viabilidade.	1.Explorar novas redes; 2.Estudo de viabilidade; 3.Comercialização.	Ulsan EIP Center na Coreia do Sul	Comercializar novas sinergias viáveis
Sopha et al. (2010)	Framework	Estrutura para criar um modelo de SI e conectar técnicas relevantes ao processo	Metodologia de sistemas para modelar SI	Entrevistas; <i>Brainstorm</i> ; Estudo da literatura; <i>Survey</i> ; Estudo de campo; Workshops.	1.Identificar as necessidades; 2.Definir os requisitos; 3.Especificar performances; 4.Analisar; 5.Projetar e melhorar; 6.Implementar.	Empresas de aquicultura da Noruega	Método sistêmico e geral para SI, dando enfoque aos <i>Stakeholders</i>
Ohnishi et al (2017)	Framework	Estrutura abrangente para analisar SI combinando análise do fluxo de material, pegada de carbono e métodos de energia	Cenário base, com indústrias e a cidade de Kawasaki	MFA (análise do fluxo de materiais); Pegada de carbono; Análise de energia.	1.Objetivo e escopo; 2.Coleta de dados; 3.Análise do fluxo de materiais; 4.Projeto do cenário; 5.Pegada de carbono; 6.Análise de energia; 7.Análise dos indicadores;	Kawasaki - Japão	Analisar as características da SI para tomada de decisão na redução de carbono e uso de resíduos.

<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Objeto de análise</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Etapas</b>	<b>Caso</b>	<b>Foco</b>
					8.Análise comparativa; 9.Implicação política.		
Notarnicola, Tassielli e Renzuli (2016)	Abordagem	Implementação de SI em uma área	Distrito industrial de Taranto	Mapeamento; <i>Survey</i> ;	1.Mapeamento ambiental e econômico da região; 2.Identificação de firmas; 3.Coleta de dados e análise de resíduos e energia; 4.Estruturação do estado atual; 5.Proposta de novas interações.	Distrito industrial de Taranto	Mapear a região e propor novas interações simbióticas
Martin, Svensson e Eklund (2015)	Abordagem	Quantificar o desempenho ambiental da SI	Teoria	Métodos de alocação de crédito	1.Objetivo e escopo; 2.Seleção do cenário de referência; 3.Seleção do método de alocação; 4.Condução de quantificações; 5.Impactos do sistema totais; 6.Impactos das firmas individuais; 7.Comparar e reportar resultados.	Exemplo fictício da indústria de biocombustíveis	Quantificar o desempenho ambiental da SI do contexto existente em relação ao de referência
Simboli, Taddeo e Morgante (2014)	Abordagem	Análise do desenvolvimento de SI e os fatores de influência	Empresas da indústria de motocicletas e a SI	<i>Survey</i> ;	1.Estado atual do contexto; 2.Projeto de SI (cenário); 3.Efeitos potenciais, benefícios e criticidades da implementação (estado futuro)	18 empresas, uma grande e 17 pequenas.	Análise das características do contexto no sucesso da SI e projeto de um cenário futuro.

<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Objeto de análise</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Etapas</b>	<b>Caso</b>	<b>Foco</b>
Boons, Spekkink e Jiao (2014)	Framework conceitual	Análise da dinâmica de SI na perspectiva de processo	Análise de sequência de eventos da SI em um sistema industrial regional	Revisão da literatura e documentos; Sequenciamento de eventos;	-	Zona canal - Holanda	Análise dos atores (crenças e desejos), com suas interações no sistema com SI e da capacidade institucional desenvolvida.
Aid et al (2015)	Método	Facilitar e desenvolver a SI em uma região	Ligações simbióticas	-	1.Coleta de dados das indústrias e sobre SI; 2.Ligações potenciais de SI com fluxos de materiais e energia; 3.Conexões potenciais para a região.	Municípios da Suécia	Foco nas ligações de SI
Liu, Côté e Zhang (2015)	Abordagem	Incorporar oportunidades potenciais de SI e produção mais limpa para melhorias em uma zona industrial	Desenvolvimento da SI e produção mais limpa em uma região	Entrevistas; Questionários;	1.Nível 1 – treinamento regional e coleta de dados; 2.Nível 2 – Auditoria de produção mais limpa entre firmas; 3.Nível 3 – Plano regional de desenvolvimento da eco-indústria	Zona industrial ecológica piloto Hai Hua - China	Ser guia para descobrir possibilidades de SI e desenvolvê-las
Iacondini et al (2015)	Passos	Aplicação e conhecimento da SI para envolver os <i>stakeholders</i>	Análise do desenvolvimento da SI em Emiglia Romagna	-	1.Atividade preliminar de identificar empresas; 2.Coleta de dados; 3.Desenvolvendo os caminhos da SI com interações;	Região Emiglia Romana na Itália	Compreender e facilitar o desenvolvimento da SI

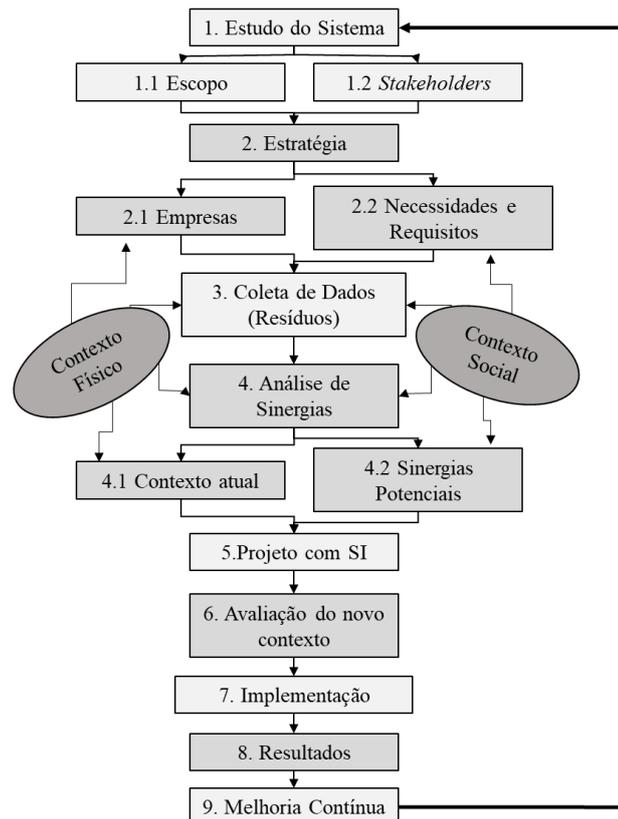
<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Objeto de análise</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Etapas</b>	<b>Caso</b>	<b>Foco</b>
					4. Disseminação dos resultados.		
Cutaia et al (2015)	Abordagem	Método e instrumento para implementação da SI em uma região com auxílio de uma plataforma <i>web</i>	Sinergias	Plataforma <i>web</i> ; Coleta de dados; Correspondência de <i>input-output</i> ;	-	Região	Uso de plataforma <i>web</i> para novas sinergias
Marconi et al (2018)	Abordagem	Criar oportunidades de SI e favorecer sua implementação	Colaborações potenciais para SI	Plataforma <i>web</i>	1. Identificar sucatas e desperdícios internos; 2. Preencher a plataforma com dados da empresa; 3. Identificação de ligações consistentes para parceiros de compartilhamento; 4. Analisar oportunidades de relacionamentos; 5. Avaliar custo benefício para cada cenário; 6. Compartilhar materiais com <i>Stakeholders</i> .	Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos	Uso de plataforma <i>web</i> para Novas sinergias
Lange et al. (2017)	Método	Utilizar ciência do projeto para desenvolver redes de agricultura urbana simbióticas (SUANs)	Ciência do projeto e redes de agricultura urbana simbióticas	SBA; Método CIMO;	1. Contexto 2. Intervenções; 3. Mecanismos; 4. Saídas.	Pequenas e médias empresas da parte leste de Amsterdam	Utilizar a ciência do projeto para desenvolver SUANs.
Santos e Magrini (2018)	Abordagem	Desenvolvimento de rede simbiótica agroindustrial com construção de uma biorefinaria	Análise de cenários na região do norte fluminense - RJ	Análise de cenários; Matriz de sinergia;	1. Cenário de curto prazo com agroindústrias; 2. Cenário de médio prazo com indústrias da região;	Empresas do norte fluminense – RJ e	Cenários para favorecer SI, com adição de novas empresas e

<b>Autores</b>	<b>Classificação</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Objeto de análise</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Etapas</b>	<b>Caso</b>	<b>Foco</b>
					3. Cenário de longo prazo com novas indústrias.	biorefinaria hipotética	uma biorefinaria.
Kanematsu, Okubo e Kikuchi (2017)	Método	Planejar SI em áreas rurais	Planejamento de SI com modelagem de atividades	Modelagem de atividades; IDEF0 (ferramenta de modelagem de funções)	1. Gerenciar atividades; 2. Examinar o sistema atual; 3. Gerar alternativas; 4. Simular fluxos nas alternativas; 5. Avaliar alternativas; 6. Rever propostas	Áreas rurais do Japão	Planejar SI modelando atividades e com simulação de fluxos
Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011)	Framework conceitual	Analisar a dinâmica da SI como um processo	Capacidade institucional e a SI como um processo	-	1. Antecedentes; 2. Mecanismos e capacidade institucional; 3. Saídas.	-	Capacidade institucional e o sistema social da SI

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com Simboli, Taddeo e Morgante (2014), Liu, Côté e Zhang (2015), Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011) e Termsinvanich, Thadaniti e Wiwattanadate (2013) alguns agentes que participam ou devem participar do sistema com SI possuem funções puramente de relacionamentos no aspecto social, sendo o estado, instituições de pesquisa, redes financeiras e a comunidade envolvida.

Figura 27 - Passos que mais aparecem nos frameworks de SI



Fonte: Elaboração própria.

Para os autores que propuseram etapas, estas foram comparadas para identificar um padrão entre os *frameworks* no Quadro 06 e mostrar onde cada pesquisa está contemplada na Figura 27 desta tese.

Quadro 6 - Identificação das etapas que aparecem em cada *framework*.

Autores	Etapas									8	9	
	1.1	1.2	2.1	2.2	3	4.1	4.2	5	6			7
Ometto, Ramos e Lombardi (2007)	✓	✓					✓	✓	✓			
Behera et al. (2012)		✓			✓	✓			✓		✓	
Sopha et al. (2010)	✓			✓			✓	✓	✓	✓		
Ohnishi et al (2017)	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓			
Notarnicola, Tassielli e Renzuli (2016)			✓		✓	✓	✓					

Autores	Etapas											
	1.1	1.2	2.1	2.2	3	4.1	4.2	5	6	7	8	9
Martin, Svensson e Eklund (2015)	✓		✓		✓	✓			✓			
Simboli, Taddeo e Morgante (2014)	✓		✓		✓		✓	✓	✓			
Boons, Spekkink e Jiao (2014)	✓	✓	✓			✓	✓			✓		
Aid et al (2015)			✓		✓	✓	✓	✓			✓	
Liu, Côté e Zhang (2015)					✓		✓	✓				
Iacondini et al (2015)			✓		✓		✓	✓			✓	
Cutaia et al (2015)			✓	✓	✓	✓					✓	
Marconi et al (2018)		✓	✓		✓	✓			✓		✓	
Lange et al. (2017)	✓	✓						✓	✓	✓		
Santos e Magrini (2018)			✓	✓	✓	✓	✓	✓				
Kanematsu, Okubo e Kikuchi (2017)	✓		✓		✓		✓	✓	✓			
Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011)		✓	✓		✓	✓					✓	
Porcentagem de vezes que aparecem nos <i>frameworks</i> (%)	47	41	71	20	75	53	65	59	53	20	35	0

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 06 mostra a frequência com que as etapas definidas são utilizadas nas estruturas para desenvolver SI, onde se percebe que a etapa de coleta de dados (mapeamento), com foco nas empresas e nos resíduos é a etapa que mais aparece nos *frameworks* (75%), logo em seguida tem-se a etapa de compreender as empresas atuais, seus objetivos e estratégias (71%), isto mostra a importância destas atividades para o sucesso do desenvolvimento da SI com uma base forte e estruturada, compreendendo completamente a situação atual e seus atores envolvidos. Na etapa de análise de sinergias, alguns tratam prioritariamente o sistema atual e outros em projetar um novo sistema, apenas quatro tratam da relação das duas coisas.

As etapas de implementação e necessidades e requisitos pouco aparecem por serem complexas de serem obtidas por parte das indústrias, que possuem receio de passar tal informações, além da implementação ser difícil e demorada. A última etapa de melhoria contínua não foi citada explicitamente nos *frameworks*, porém é sempre tratada nos textos dos artigos, deixando claro a necessidade de estar em constante melhoria, considerando o aspecto dinâmico da SI e de seus atores.

Notou-se que os *frameworks* de projeto da SI incorporam principalmente questões relacionadas aos princípios de projeto, à análise de fluxos e ao aspecto social dos agentes. Estes consideraram os resíduos gerados por cada agente e, a partir destes, a formação de trocas simbióticas para eliminação de descarte. Cada pesquisa usou de seu objeto para trazer novas perspectivas no desenvolvimento das interações e reaproveitamento de resíduos.

Ometto, Ramos e Lombardi (2007) evidencia a geração de energia a partir dos resíduos de biomassa do agronegócio, Santos e Magrini (2018) trazem a contribuição da estratégia de aproveitar empresas do sistema para trocas simbióticas no curto prazo, expandir para a região no médio e criar novas empresas no longo. Behera et al. (2012), Notarnicola, Tassielli e Renzuli (2016), Marconi et al. (2018) e Iacondini et al (2015) focam nos passos de coleta de dados e possibilidades para sinergias entre as empresas.

Sopha et al. (2010), Lange et al. (2017) e Kanematsu, Okubo e Kikuchi (2017) e Martin, Svensson e Eklun (2015) trazem em seus frameworks as questões relacionadas a projeto, como o entendimento do problema, das funções, dos fluxos e dos requisitos para posterior análise e definição do projeto.

Ohnishi et al. (2017) e Aid et al. (2015) focam exclusivamente na troca de resíduos entre empresas que os geram e aquelas que aproveitam dos mesmos. Por fim, Simboli, Taddeo e Morgante (2014), Boons, Spekkink e Jiao (2014), Spekkink (2016), Liu, Coté e Zhang (2015) e Boons, Spekkink e Mouzakis (2011) apresentam o aspecto social do agente como tomador de decisão, com crenças, desejos e motivações para realização das trocas simbióticas e consequentemente do desenvolvimento da SI.

#### **2.4. O conhecimento do objeto: a si no contexto do agronegócio**

Primeiramente deve-se definir agronegócio como um conjunto de operações e transações que se envolvem desde a fabricação de insumos agropecuários, produção, processamento e distribuição e consumo dos produtos agropecuários “in natura” ou industrializados. Este tipo de negócio possui especificidades únicas, tais como: sazonalidade da produção; influência de fatores biológicos como doenças e pragas; e perecibilidade rápida (ARAÚJO, 2013).

O agronegócio ultrapassa a fronteira da propriedade rural para envolver todos os que participam direta ou indiretamente do processo de levar os alimentos e as fibras aos consumidores. Contempla as três partes de um sistema inter-relacionado: o setor de suprimentos agropecuários, o setor de produção agropecuária, e o setor de processamento e manufatura. Por agropecuária envolve-se a produção animal, lavouras, culturas, extração vegetal e indústria rural (MENDES e PADILHA JUNIOR, 2007).

O termo agroindústria é a unidade produtora integrante dos segmentos localizados nos níveis de suprimento à produção, à transformação e ao acondicionamento, e processa o produto

agrícola, em primeira ou segunda transformação para sua utilização intermediária ou final (MENDES e PADILHA JUNIOR, 2007).

As especificidades da produção agropecuária para entender melhor o agronegócio de acordo com Araújo (2013) são:

- a) Sazonalidade da produção: apresentam períodos de safra e entressafra, onde há abundância de produtos e períodos de falta de produção, com poucas exceções, porém a demanda (consumo) permanece mediamente constante ao longo do ano. Esta característica acarreta em momentos de alta e baixa no preço do produto, na necessidade de estocagem, em períodos de maior utilização dos fatores de produção, receitas concentradas, logística complexa e sazonalidade no emprego;
- b) Influência de fatores biológicos (doenças e pragas): os produtos estão suscetíveis ao ataque de doenças e pragas que diminuem a quantidade produzida, podendo haver perda total, e a qualidade dos produtos. As doenças também podem atingir seres humanos e outras produções, exigindo controle cuidado e intenso. Esta característica resulta em maiores custos (agrotóxicos), maior risco para os operários e ambiente e a possibilidade de resíduos tóxicos chegarem aos clientes;
- c) Perecibilidade rápida: devido a atividade biológica dos produtos, a vida útil destes produtos tende a ser diminuída ao longo do tempo. Esta especificidade exige tratamento dos produtos, armazenagem adequada e conservação, embalagens adequadas e logística específica;
- d) Influência dos elementos e fatores climáticos: A maior parte da produção é dependente de elementos do clima e de fatores climáticos, afetando a produção e gerando riscos e incertezas;
- e) Dispersão da produção: dispersão espacial da produção ao longo do território brasileiro e baixo nível de instrução dos agricultores familiares, que buscam a integração para fortalecimento no mercado através de formas associativas;
- f) Baixo valor Agregado dos produtos agropecuários: como os produtos agropecuários são commodities e são considerados como produtos básicos, estes são de baixo valor agregado, causando baixa remuneração dos produtores e ganho no volume de produção e eficiência produtiva.

Batalha e Silva (2007) complementam com:

- a) Sazonalidade do consumo: variações da demanda ligadas às variações climáticas das estações do ano, como chocolates na Páscoa e consumo de cerveja nos períodos quentes;

- b) Variações de qualidade da MP: produtos sujeitos a variações na técnica de manejo, influenciando na qualidade final.

Sistemas agroindustriais são um “[...] conjunto de participantes e de operações para a produção, processamento e mercadologia de um produto específico, incluindo as possibilidades tecnológicas e as estratégias adotadas pelos agentes envolvidos” (ARAÚJO, 2013, p. 19). Conjunto de atividades para produção de produtos agroindustriais, desde a obtenção dos insumos até o produto final não específico, composto por seis atores, agricultura, pecuária e pesca, indústrias agroalimentares, distribuição agrícola e alimentar, comércio internacional, consumidor e indústrias e serviços de apoio (BATALHA; SILVA, 2007).

Araújo (2013) classifica sistema agroindustrial em sistema agroalimentar como sendo o conjunto das atividades para formação e distribuição dos produtos alimentares para cumprir a função de alimentação. E sistema agroindustrial não alimentar como sendo o conjunto das atividades não destinadas a alimentação, mas aos sistemas energético, madeireiro, couro e calçados, papel, papelão e têxtil.

Após a compreensão do setor do agronegócio com suas definições e especificidades, passa-se a análise da SI neste ambiente característico.

A análise e discussão deste tópico do trabalho foram baseadas na revisão bibliográfica sistemática realizada, e surgem através de uma análise teórica conceitual dos artigos encontrados na literatura específica utilizada e que segundo Fleury (2010) dão forma ao pensamento, estabelecem sistemas de significados e cria padrões familiares que permitem a manipulação e trabalho.

Para isso desenvolveu-se um protocolo para a revisão sistemática baseado no modelo de Conforto, Amaral e Silva (2011), a qual consta a formulação da questão e a seleção dos estudos referentes a esta revisão, vide Apêndice B. O objetivo desta foi identificar as pesquisas que utilizaram a SI dentro da esfera do agronegócio, a fim de identificar quais as contribuições da literatura sobre estes dois temas em conjunto.

A revisão bibliográfica proposta retornou no final do filtro 3 um total de 22 artigos que tratavam o tema de SI com agronegócio. O Quadro 7 apresentado a seguir apresenta os artigos encontrados em relação à aplicação da SI na agroindústria, com autores, ano do artigo, qual o tipo de estudo desenvolvido e o resíduo agroindustrial analisado.

Quadro 7 - Artigos e contribuições para o estudo

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Estudo</b>	<b>Resíduo agroindustrial</b>
Hardy e Graedel	2001	Desenvolver uma “ <i>food web</i> ”	Diversos

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Estudo</b>	<b>Resíduo agroindustrial</b>
Ozyurt e Realf	2001	Localização de complexo agroindustrial	A casca de amendoim
Niutanen e Korhonen	2003	Sistema cíclico para materiais e energia num sistema agroindustrial	Estrume é utilizado como fertilizante e fonte de energia
Mol e Dieu	2006	Abordagem integrativa para simbiose agroindustrial	Resíduos de frutas e fibras como fertilizantes e alimentação para animais. Reuso de água para irrigação e aquacultura
Singh et al	2007	Redução da emissão de carbono	Do Setor agroquímico
Rebah et al	2007	Estudo para novas Sinergias	Diversos
Ometto, Ramos e Lombardi	2007	GERIPA – geração de energia renovável e comida orgânica	Da indústria do etanol
Anh et al	2011	Modelo físico-tecnológico	Da Aquacultura
Martin e Eklund	2011	Sistema de biocombustível com bioenergia e biogás	Bioenergia simbiótica (etanol)
Kotlar, Aguero e Rourar	2012	Obtenção de enzimas proteolíticas	Da indústria cervejeira
Mirabella, Castellani e Sala	2013	Reutilização de resíduos	Provindos de processamento de comidas
Posadas et al	2014	Recuperação de nutrientes	Efluentes agroindustriais
Vardanega, Prado e Meireles	2014	Transformação em energia	Diversos
Gonela e Zang	2014	Produção de etanol e bioenergia	De usina sucroalcooleira (cana de açúcar)
Alfaro e Miller	2014	SI em uma pequena fazenda para redução de desperdícios	Fezes de animais; Restos da colheita de arroz
Rovas e Zabaniotou	2015	Produção de calor e energia	De frutas, oliva e produção de vinho
Cutaia et al	2015	Análise <i>input-output</i>	Diversos
Simbioli, Taddeo e Morgante	2015	Clusters agro-alimentares	Verduras e legumes
Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin	2016	Sistemas “ <i>Agro-food</i> ”	Da produção de alimentos
Santos e Magrini	2018	Analisar o potencial de desenvolvimento com uma biorefinaria	Cana-de-açúcar
Marinelli et al	2017	Reutilização de resíduo da citricultura na pecuária	Fruta citrina siciliana
Cutaia et al	2014	Propostas de sinergias potenciais	Resíduos agroindustriais da região Emilia-Romagna

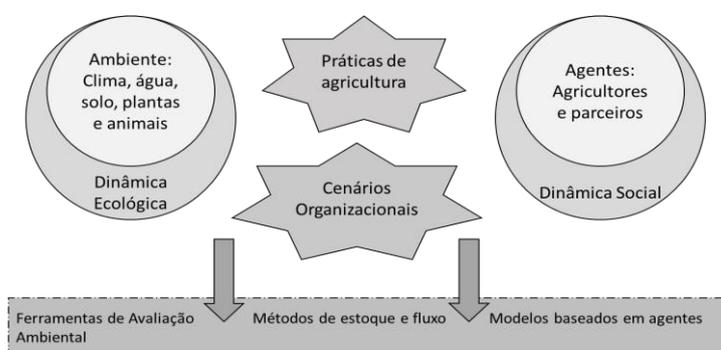
Fonte: Próprio autor

Os artigos trouxeram aplicações de SI em casos onde as indústrias pertenciam ao setor agroindustrial, focando no favorecimento e análise das sinergias que surgem entre os membros dos sistemas agroindustriais analisados. Os estudos variaram entre agricultura, pecuária, fazendas e especialmente na cana-de-açúcar e sua transformação em etanol, isto explica-se por sua vasta aplicação, principalmente em países subdesenvolvidos e na China, com uma certa variedade de subprodutos, como o bagaço, a vinhaça ou a torta de filtro e o potencial de reusos. Observou-se que um artigo em especial trata da EI, e conseqüentemente da SI, aplicada no setor agroindustrial, pesquisando abordagens para este caso específico.

Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin (2016) trouxeram o conceito de “Ecologia agroindustrial”, definindo-o simplesmente como a aplicação específica da EI para analisar sistemas agrícolas, o qual possui uma dinâmica ecológica e social com práticas de agricultura e cenário organizacionais de cada membro, o que está representado na Figura 28. Os autores atentam para a aplicabilidade e contribuição da SI para a agroindústria e também para a importância de utilizar a SBA para obtenção de melhores cenários, porém existem poucos trabalhos na área.

Alguns pontos importantes foram analisados nesta área, sendo as interações entre os processos de produção agrícola e o ambiente natural; a predominância de poluição difusa em vez de pontual nas operações agrícolas; a natureza altamente dispersa das empresas agrícolas dentro das paisagens; e a alta diversidade de práticas agrícolas e interações ao longo do tempo e espaço demandam que os sistemas agroalimentares tenham abordagens específicas nesse campo científico, distinto dos sistemas sócio-ecológicos puramente industriais (FERNANDEZ-MENA; NESME; PELLERIN, 2016).

Figura 28 - Ecologia Agroindustrial



Fonte: Adaptado de Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin (2016).

No estudo sobre Ecologia Agroindustrial, Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin (2016) encontraram três abordagens principais, ferramentas de avaliação ambiental, com pegada de

nutrientes e análise do ciclo de vida, métodos de análise de fluxo, com cálculos de estoques e fluxos dentro do sistema e a aplicação de SBA.

Para desenvolver a SI nas fazendas Alfaro e Miller (2014) propõe o uso de resíduos da própria fazenda para alimentação animal ou adubagem do solo. E Mirabella, Castellani e Sala (2014) sugerem o uso de resíduos alimentares para obtenção de biocombustíveis, além de aproveitar o soro do queijo na obtenção de proteína.

A utilização de resíduos agro-alimentares apresenta vantagens líquidas, como pode ser visto no uso de efluentes de cana-de-açúcar, com a incorporação de palha ao solo como fertilizante, combustão do bagaço e palha em caldeiras para gerar energia térmica e elétrica, e uso de vinhaça como adubo de campo. A partir do bolo de filtração, pode ser extraído policosanol, agente aipopo colesterolémico, e o CO<sub>2</sub> gerado na fermentação pode ser recuperado para ser usado em processos de extração de fluido supercrítico (VARDANEGA; PRADO; MEIRELES, 2015).

## **2.5. Considerações finais do referencial conceitual**

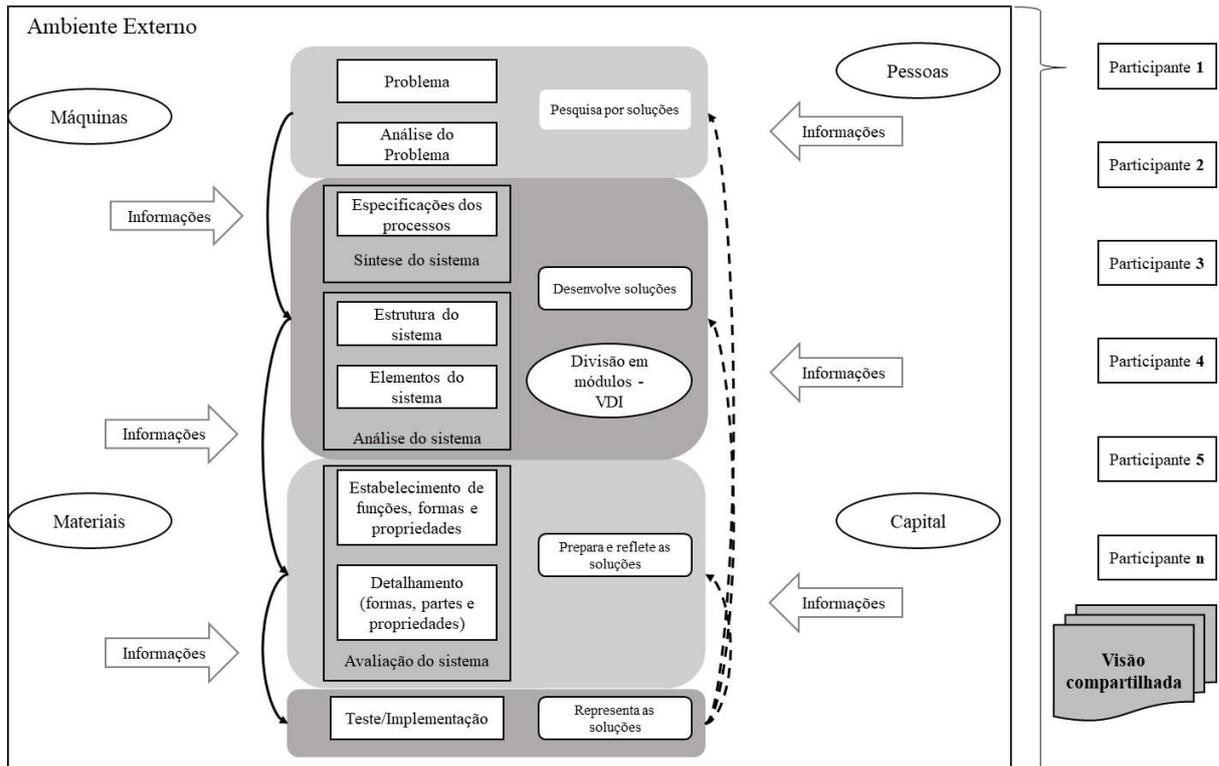
Os modelos de projeto trazem consigo alguns pontos essenciais para seu sucesso e desenvolvimento, estes geralmente são a atividade (seja do objeto ou do projetista), a gestão e a estratégia, como encontrado em Pugh. Alguns tratam o método, teoria e objeto como Hubka e Eder (1995), outros objeto, estratégia e método, como Pahl e Beitz (1996) e o VDI 2221, focando no sistema requerido final. E por fim, Bucciarelli (2002) traz a ideia da interação entre os participantes, seus mundo-objetos e o próprio objeto, além das técnicas envolvidas.

Por meio da análise dos modelos de projeto apresentado foi possível desenvolver uma estrutura única para o projeto do sistema objeto de estudo neste trabalho (vide Figura 32). A estrutura traz os modelos de Hubka e Eder (1995) e Pahl e Beitz (1996) como no centro, sendo sua espinha dorsal, envolto a influências de variáveis descritas por Pugh (1991), sendo as informações diversas dos *stakeholders* e do sistema técnico, as pessoas, capital, material e máquinas existentes ou pretendidas. Por fim, apresenta-se a visão do Bucciarelli (2002) sobre a visão única de cada participante no projeto, com sua visão de mundo-objeto.

A Figura 29 apresenta a estrutura essencial do projeto, esta que aparece de forma recorrente em todos os modelos apresentados. São oito etapas divididas em quatro grupos, o grupo um possui as etapas de analisar e identificar o problema, com o intuito de entender suas características e elementos, já iniciando a busca por possíveis soluções.

O grupo 2 possui as etapas de entender as especificações dos processos presentes no sistema e a análise do sistema com a compreensão de sua estrutura e elementos constituintes, além de considerar o desenvolvimento das soluções, trabalhando com a divisão do sistema em módulos, caso o sistema tenha alta quantidade de membros.

Figura 29 - Fluxograma resumo de modelos de ciência do projeto



Fonte: elaboração própria.

O grupo 3 já inclui o preparo e reflexão das soluções, com a avaliação do sistema, realizando o estabelecimento de funções, formas e propriedades e o detalhamento do objeto de projeto, suas características e relações dos elementos. O grupo 4 encerra com o teste e posterior implementação do objeto projetado, aqui tem-se a representação concreta da solução.

As setas laterais representam o fluxo de informação, onde cada grupo comunica com o seguinte e recebe retorno em caso de alterações ou mudanças ocorridas durante o projeto. O ambiente externo envolve todo o sistema e representa a região de análise e os *stakeholders*, onde há um intenso fluxo de informações constantes em todas as etapas, considerando principalmente os recursos máquinas (tecnologias), materiais, pessoas envolvidas e o capital necessário e disponível. Por fim, no canto direito tem-se a visão de cada participante (agente) que cria seu próprio mundo-objeto do projeto, e por isso, deve-se ter momentos de visão compartilhadas com todos para o correto desenvolvimento do projeto.

No que tange a obtenção de desenvolvimento sustentável, os conceitos que mais trazem benefícios e utilização eficiente de resíduos gerados em um dado sistema são a EI e a EC. A

partir de ambas, o conceito que está bem relacionado na literatura para integração de um sistema e redução de descartes ao meio ambiente é a SI (HOMRICH et al, 2018).

A SI consegue trazer uma série de benefícios ambientais, e de fato provoca a realização de sinergias e integração entres membros de um sistema (CHERTOW, 2000). A ideia central está em compartilhar recursos e/ou trocar resíduos para obter o máximo de valor e eficiência energética (CHERTOW; PARK, 2016).

Como forma de organização, a SI pode surgir com o papel de empresas campeãs, que possuem um poder importante e relevante (KOKOULINA et al, 2018), coordenadores, que são os reguladores (MENATO et al, 2017), âncoras, que são centrais nas trocas simbióticas (SUN et al, 2017), ou simplesmente ser auto-organizada pelos membros sem um papel de destaque entre eles (CHERTOW, 2000; ZHU; LOWE; BARNES, 2007).

A literatura apresenta 17 *frameworks* para desenvolvimento de SI que priorizam em sua realização a sinergia e favorecimento da SI em um sistema ou região, estes focaram nas trocas simbióticas passíveis de serem realizadas a curto, médio e longo prazo. Destes foram encontradas 9 etapas comuns para o projeto de SI, apresentados na Figura 29.

Estas etapas precisam incorporar características e atividades encontradas na literatura e que estão subentendidas nas pesquisas e aplicações dos *frameworks*. O Quadro 8 apresenta este conjunto de atividades a serem consideradas no projeto de SI.

Quadro 8 - Atividades importantes na SI

<b>Elementos para desenvolver um sistema com SI</b>	<b>Referências</b>
Compartilhamento de recursos Compartilhamento de serviços Gestão compartilhada de utilidades	(CHERTOW; ASHTON; ESPINOSA, 2008)
Realização de trocas simbióticas	(CHERTOW, 2000)
Cooperação	(ZHANG et al, 2015)
Compartilhamento de Know-how	(JENSEN et al, 2011)
Análise <i>Input/Output</i>	(TROKANAS; CECELJA; RAAFAT, 2015)
Compartilhamento de infraestrutura	(YUAN; SHI, 2009)
Visão compartilhada	(DEAN; FATH; CHEN, 2014)
Estratégia de regulação Capacidade de adaptação Capacidade de absorver eventos interruptivos	(MANNINO et al, 2015)
Cultura interorganizacional Papel de participação da comunidade	(TADDEO et al, 2017; MIRATA; EMTAIRAH, 2015)
Compartilhamento de informação e suporte	(BELLANTUONO; CARBONARA; PONTRANDOLFO, 2017)
Integração	(CHERTOW, 2000; DONG et al, 2016; WON et al, 2006)
Aprendizagem conjunta	(MIRATA; EMTAIRAH, 2015)
Pensamento coletivo	(YAZAN; ROMANO; ALBINO, 2016)
Redução de descarte Redução de poluição Redução de matéria-prima virgem Obtenção de ganhos econômicos com resíduos	(MIRATA; EMTAIRAH, 2005; ZHU; LOWE; BARNES, 2007; SOKKA; PAKARINEN; MELANEN, 2011; DONG et al, 2013; WU; QI; WANG, 2016; MAILLE; FRAYRET, 2016)

Elementos para desenvolver um sistema com SI	Referências
Inovação	(DOMENECH; DAVIES, 2011; NUHOFF-ISAKHANYAN et al, 2017)
Confiança	(GOLEV; CORDER; GIURCO, 2014)
Participação dos <i>Stakeholders</i>	(SIMBOLI; TADDEO; MORGANTE, 2014)
Comunicação entre os membros e <i>stakeholders</i>	(CHERTOW; LOMBARDI, 2005)
Busca por soluções coletivas Reciclagem local comum	(SIMBOLI; TADDEO; MORGANTE, 2015)
Presença de um eco-centro	(WANG; DEUTZ; CHEN, 2017)
Compartilhamento de custos, riscos e benefícios Correspondência entre oferta e demanda de resíduos	(HERCZEG; AKKERMAN; HAUSCHILD, 2018)
Mobilização para SI	(WANG; DEUTZ; CHEN, 2017)
Realização de contratos	(ALBINO; FRACCASCIA; GIANNOCARO, 2016; TERMSINVANICH; THADANITI; WIWATTANADATE, 2013)
Acompanhamento por indicadores	(TROKANAS; CECELJA; RAAFAT, 2015; FELÍCIO et al, 2016)
Obtenção de benefícios ambientais	(CHERTOW, 2012; DOMENECH; DAVIES, 2011)
Desenvolvimento de produtos com menor vida útil	(SHI; LI, 2019)

Fonte: elaboração própria

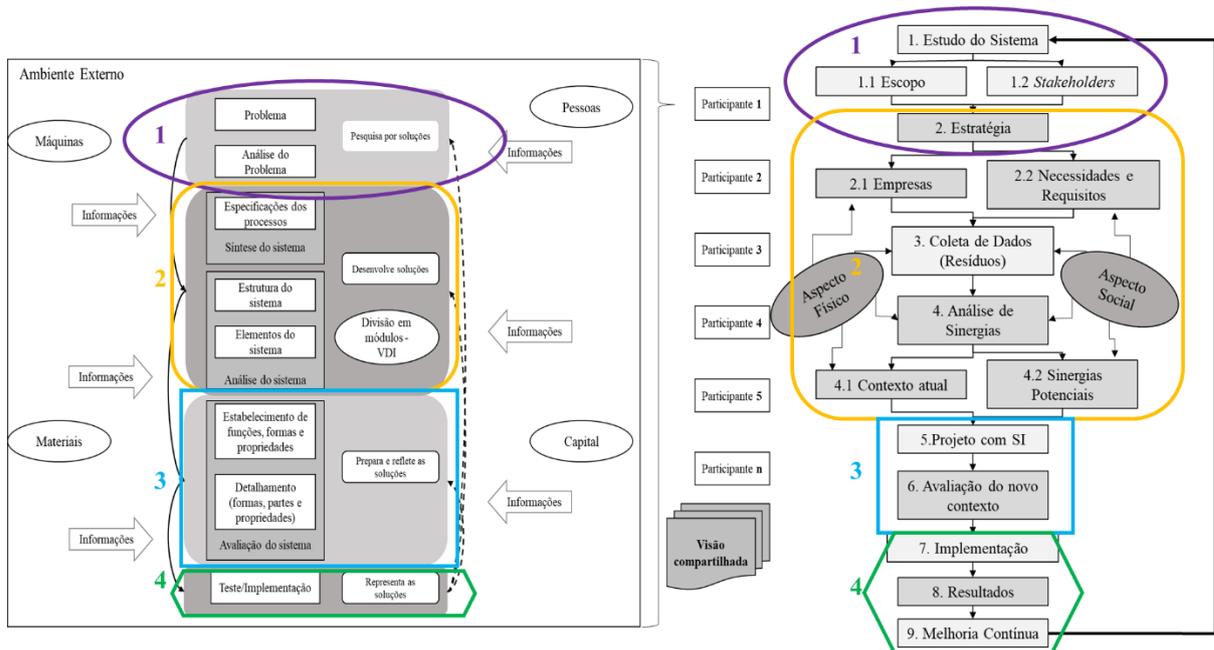
Com as atividades definidas a partir da literatura, este trabalho apresentou pesquisas que ocorreram no setor agroindustrial. Estas evidenciam a aplicabilidade da SI neste setor, e que seus resultados podem ser promissores. Em sua maioria, eles se preocuparam com a análise de sinergias, integração e uso de biorefinarias.

Um ponto essencial para projeto e estruturação de um sistema com SI é a definição deste conceito como sistema adaptativo complexo, por possuir uma integração de membros complexa, com grande quantidade de variáveis, auto-organização e emergência que surge pelas relações entre os membros. O comportamento do sistema é visto como a integração de agentes, com desejos econômicos e ambientais que tomam decisões para seu sucesso e para a eficiência conjunta.

Para validação e análise deste objetivo a fim de responder as questões de pesquisa, esta tese buscou o método de SBA, que opera justamente para aplicar modelagem e simulação em ambientes de sistemas complexos. Este método é capaz de prever possíveis comportamentos que serão desenvolvidos pelos membros conforme as decisões tomadas pelos mesmos.

Por fim, a Figura 30 relaciona o fluxograma obtido com a integração dos modelos de ciência do projeto e o fluxograma provindo das etapas mais encontradas nos *frameworks* para desenvolvimento de SI. Cria-se o fluxograma central deste trabalho que deverá ser seguido como roteiro de desenvolvimento da SI em um sistema industrial.

Figura 30 - Integração fluxograma de ciência do projeto e fluxograma para desenvolver SI



Fonte: Elaboração própria.

É possível perceber que as duas primeiras etapas do fluxograma de projeto contemplam o estudo do sistema da SI, considerando a estratégia dos *stakeholders* e a análise dos problemas a serem resolvidos também. A segunda integração ocorre entre a síntese e análise do sistema do projeto com a estratégia das empresas, a identificação destas e suas necessidades e requisitos, além disso, é realizada a coleta de dados, análise de sinergias e suas potenciais trocas, encerrando a compreensão do contexto atual.

A terceira integração ocorre a avaliação do sistema pelo projeto e o projeto da SI e avaliação do novo cenário, etapa grande que requer auxílio de ferramentas computacionais, como a SBA, inclusive para identificação do melhor panorama ambiental e econômico.

Por último, a etapa de testes e representação da solução considera a simulação que obteve melhores resultados e a própria etapa de implementação no ambiente real, com coleta de dados ao longo da evolução da SI, pensando sempre na melhoria contínua do sistema.

## Capítulo 3. METODOLOGIA

No capítulo anterior foram apresentados os conceitos norteadores desta tese para o desenvolvimento da base teórica presente na literatura para responder as questões de pesquisa e atender ao objetivo.

Considerando que os questionamentos foram: como um sistema majoritariamente composto por empresas agroindustriais pode incorporar a SI para melhoria das condições ambientais? Como a estrutura de projeto contribui para o desenvolvimento da SI em um sistema? Qual a contribuição da SBA para o projeto da SI e sua validação em um sistema agroindustrial?

E que o objetivo geral desta tese é analisar o desenvolvimento da SI por meio da SBA em um sistema agroindustrial na cidade de Dourados-MS considerando tanto as trocas de resíduos sólidos quanto os relacionamentos dos agentes. Este capítulo apresentará a classificação metodológica da pesquisa e a descrição do método utilizado para posterior apresentação dos resultados.

### 3.1. Classificação metodológica

Como abordagem de pesquisa para responder suas questões e objetivo, esta tese adotou a abordagem quantitativa, pois esta possui como principal característica o ato de mensurar as variáveis de pesquisa. Outro ponto é que as variáveis são determinadas pela teoria e o pesquisador pouco interfere nelas. Como principais preocupações tem-se a mensurabilidade, causalidade, generalização e replicação (MARTINS, 2012).

As variáveis desta pesquisa são oferecidas pela natureza ou derivadas da teoria. Bryman (2003) apresenta a estrutura onde parte-se da teoria para a coleta de dados e processamento dos mesmos, seguindo para a análise dos dados e interpretação e encerrando com a indução dos resultados.

Quatro características desta abordagem são apresentadas por Bryman (2003) e aplicadas nesta pesquisa:

- a) A mensurabilidade define um conjunto de variáveis para representar constructos identificados na literatura e importantes no trabalho. Neste caso tem as variáveis da SI que envolvem seus membros dentro do sistema, para representar a integração e utilização de resíduos;
- b) A causalidade expressa a relação causal entre as variáveis, tanto dependentes quanto independentes;

- c) A generalização trata de ampliar os resultados para além dos limites da pesquisa;
- d) A replicação trata de aplicar o método novamente para encontrar os resultados descritos. O que pode ser feito a partir do modelo criado nos resultados e com uso da SBA.

Portanto, como o objetivo é projetar e validar o comportamento de um sistema ao longo do tempo e tomar a melhor decisão no projeto de SI, considerando todas as variáveis possíveis, o melhor método de pesquisa que atende esses requisitos é a modelagem e simulação.

### **3.2. Método de pesquisa modelagem e simulação**

O método de modelagem e simulação para Morabito e Pureza (2012) utiliza modelos que permitem compreender melhor o ambiente, encontrar problemas e sistematizar a tomada de decisão. O modelo explica o comportamento de processos operacionais reais, auxilia no processo de tomada de decisão e descreve os relacionamentos existentes entre as variáveis (BERTRAND; FANSOO, 2002).

Um modelo é a representação de uma realidade, suficientemente detalhado para captar elementos essenciais e simular o sistema real, além de ser simples para ser tratável por métodos de análise e resolução. Utilizam de linguagem matemática e computacional, com técnicas analíticas e experimentais para calcular valores numéricos de propriedades do sistema e análises de resultados de diferentes ações do sistema (MORABITO; PUREZA, 2012).

A modelagem pode ser classificada em duas classes, a axiomática e a empírica. A axiomática é dirigida no próprio modelo idealizado, neste caso o pesquisador tem o objetivo de obter soluções dentro do modelo para melhorar a estrutura deste, e gera conhecimento sobre o comportamento de certas variáveis e a forma de manipulá-las. Esta é normativa e desenvolve políticas, normas, estratégias e ações para obter melhores resultados dos que os disponíveis na literatura com uso de otimização matemática. Ela é descritiva quando procura entender o processo modelado e suas características, descreve o comportamento do problema modelado e compreende os relacionamentos existentes (BERTRAND; FANSOO, 2002).

A empírica é dirigida por medidas e descobertas empíricas, onde o pesquisador tem como objetivo assegurar que as observações e ações verificadas na realidade se encaixem com o modelo proposto para aquela realidade, ou seja, se preocupa em criar modelos que se adequem às relações causais que ocorrem no problema. Ela é descritiva quando está interessada em criar um modelo que adequadamente descreve as relações causais existentes na realidade e leva à compreensão dos processos reais. Ela é normativa quando se preocupa com o desenvolvimento

de políticas, estratégias e ações para melhorar a situação corrente e baseia-se em modelos que prescrevem uma decisão para o problema (BERTRAND; FANSOO, 2002).

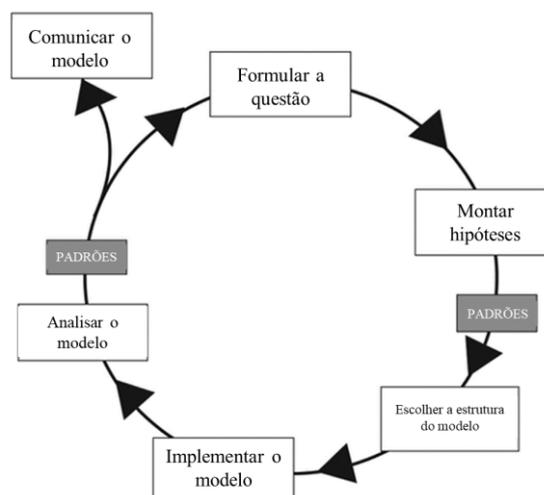
O intuito deste trabalho é justamente buscar os modelos de projeto de simbiose industrial existentes na literatura e desenvolver uma estruturação a partir dos dados encontrados pelas pesquisas disponíveis. Os modelos anteriores já determinaram algumas práticas e ferramentas que devem ser utilizadas para o desenvolvimento da SI, cabe reunir as melhores práticas e conceitos e coloca-las em um modelo com equacionamentos de variáveis pertinentes a eficiência na utilização de resíduos.

Esta pesquisa é classificada como empírica normativa, pois o direcionamento está em buscar um modelo computacional para estruturar um sistema com a realidade da SI, seu desenvolvimento e as relações causais entre as variáveis aqui citadas para reutilização de resíduos. Encontrar o melhor cenário, que considere os elementos essenciais do sistema e os limites impostos pelo contexto do ambiente na situação real é o objetivo neste caso.

Modelo é a representação intencional de algum sistema real, usados para resolver problemas ou responder questões sobre o sistema, onde é possível traduzir o sistema de uma forma mais simplista e realizar experimentos (RAILSBACK; GRIMM, 2019).

O ciclo de modelagem é mostrado na Figura 31, onde Railsback e Grimm (2019) começa com a formulação da questão com os problemas encontrados, seguido pela montagem de hipóteses para processos e estruturas essenciais, depois pela escolha de escalas, entidades, variáveis de estado dos agentes e ambiente, processos e parâmetros, depois pela implementação do modelo, seguido de análise, teste e revisão do modelo, finalizando com comunicação dos resultados a todos os envolvidos.

Figura 31 - Ciclo de modelagem



Fonte: Railsback e Grimm (2019).

Portanto, com a modelagem do sistema e definição das relações causais principais as restrições e a estrutura em si, parte-se para a simulação dos dados. Conforme Berends e Romme (1999) a simulação é a construção e manipulação de um modelo operatório, sendo possível realizar experimentos que não são passíveis de serem feitos na natureza, para gerar resultados e comparações. A simulação utiliza de *softwares* para análise dos dados coletados no caso e proposição de vários cenários através da manipulação dos integrantes do sistema e de suas variáveis.

Muitos sistemas operacionais estão interconectados e sujeitos a variabilidade e complexidade (combinatória e dinâmica). Como é difícil prever o desempenho de sistemas que estão sujeitos a qualquer variabilidade, interconexão e complexidade, é muito difícil, se não impossível, prever o desempenho de sistemas operacionais que estão potencialmente sujeitos a todos os três. Modelos de simulação, no entanto, são capazes de representar explicitamente a variabilidade, interconexão e complexidade de um sistema. Como resultado, é possível, com uma simulação, prever o desempenho do sistema, comparar projetos de sistemas alternativos e determinar o efeito de políticas alternativas no desempenho do sistema (ROBINSON, 2004; PIDD, 2004).

A simulação é útil para descrever, explicar, entender, melhorar um sistema, comparar alternativas ou cenários, comunicar e desenvolver ideias (BARBOSA; COSTA; TORRES, 2002).

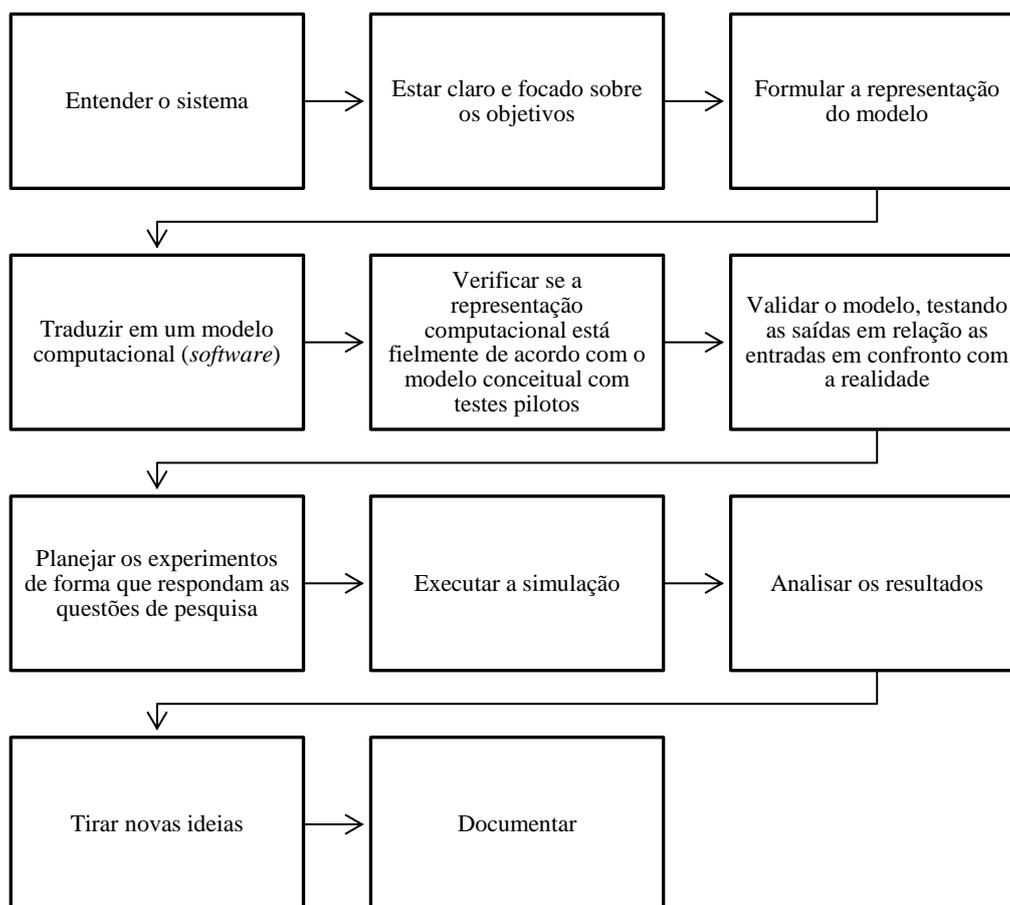
Harrington e Tumay (2000) dizem que a simulação ajuda na resolução de problemas, na previsão dos resultados, na explicação de variações do sistema e na quantificação de indicadores de desempenho.

A simulação são modelos poderosos para analisar sistemas complexos (MORABITO NETO; PUREZA, 2012). A simulação é o processo de criar e projetar um modelo computacional, com base em um sistema real para entender o comportamento do sistema sob determinadas condições de operação (KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, 2007).

A simulação de uma forma útil pode ser classificada em três dimensões. Ela pode ser estática se a variável tempo não for importante, ou dinâmica se o tempo influenciar. Continua se o estado do sistema mudar constantemente no decorrer do tempo, ou discreta se as mudanças ocorrerem em momentos específicos. E por fim, determinística se os dados de entradas forem fixos e constantes e estocásticos se os dados forem aleatórios, sob uma função probabilística (KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, 2007). Nesta pesquisa a simulação foi dinâmica, discreta e estocástica.

Kelton, Sadowski e Sadowski (2007) apresentam alguns aspectos importantes para a modelagem correta de um sistema conforme a Figura 32. Vale ressaltar que a etapa de validação pode retornar uma resposta negativa em relação aos objetivos foco de estudo, exigindo que o pesquisador retorne aos aspectos iniciais novamente para melhorar a representação do modelo e compreensão do sistema.

Figura 32 - Atividade importantes para modelagem



Fonte: Kelton, Sadowski e Sadowski (2007).

Segundo Béguin e Well-Fassina (2002) quando a simulação é utilizada para projetar um objeto ou uma situação potencial, esta possui o objetivo de concepção. Neste uso, existem duas possíveis aplicações, a simulação como banco de teste e a simulação como gerenciamento de projeto e da intervenção ergonômica.

Este trabalho aplicou a simulação como banco de teste, que para Béguin e Well-Fassina (2002) tem como objetivo avaliar a eficiência de diferentes configurações de uma solução para observar os resultados e compará-los entre si para obter o melhor desempenho.

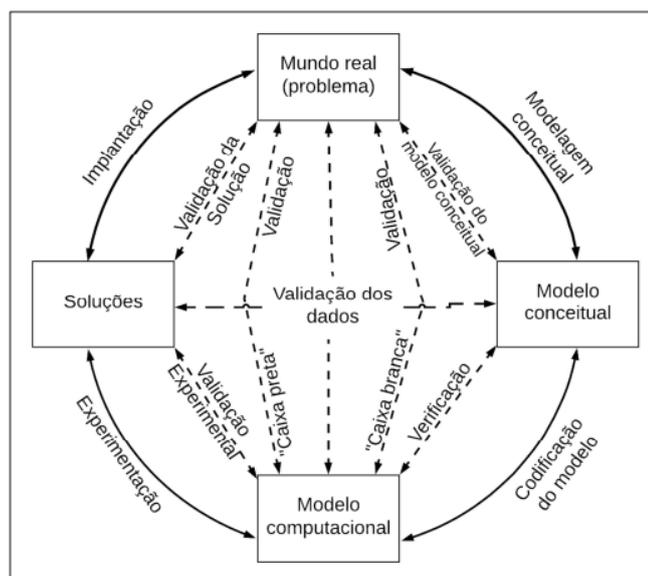
Robinson (2004) apresenta uma estrutura com quatro estágios e processos chaves para a simulação:

- a) Modelo conceitual que contém uma descrição do modelo a ser desenvolvido, com a situação problema, os objetivos da modelagem, entradas, saídas e o conteúdo em si e coleta dos dados necessários à simulação. Este modelo deve representar o sistema real e ser capaz de atender aos objetivos/resolver o problema do sistema real;
- b) Modelo computacional em um *software*, esta fase consiste em “traduzir” o modelo conceitual para uma linguagem de programação utilizada em algum *software* de simulação;
- c) Experimentação com este modelo computacional para melhorar a compreensão do mundo real e para encontrar a solução do problema. Busca resultados acurados e soluções potenciais com uma boa análise sensitiva;
- d) Implementação da solução, definida pelos experimentos com modelo computacional, no sistema real. Seja por meio da implementação dos resultados da simulação no sistema real, ou pela implementação do próprio modelo ou ainda apenas como forma de aprendizagem.

A verificação e validação são extremamente importantes para o processo de simulação. A verificação é o processo de assegurar que o projeto do modelo (modelo conceitual) tenha sido transformado em um modelo computacional com precisão suficiente, sendo um dos princípios da fidelidade com o qual o modelo conceitual é convertido no modelo computacional (conforme sua definição). A validação, por outro lado, é o processo de assegurar que o modelo seja suficientemente preciso para o objetivo em questão (ROBINSON, 2004; PIDD, 2004).

A estrutura de quatro estágios e as etapas de validação e verificação necessárias ao processo de simulação são apresentados na Figura 33.

Figura 33 - Processo de modelagem e simulação com validação e verificação



Fonte: Robinson (2004).

A validação do modelo conceitual visa determinar que o conteúdo, suposições e simplificações do modelo proposto sejam suficientemente precisos para o propósito em questão. A validação dos dados, busca a determinação de que os dados contextuais e os dados necessários para a realização e validação do modelo são suficientemente precisos para o objetivo em questão. Como consta na Figura 33, isso se aplica a todos os estágios de um estudo de simulação, uma vez que os dados são necessários em todos os pontos (ROBINSON, 2004).

A validação de caixa branca estipula que as partes constituintes do modelo de computador representem os elementos correspondentes do mundo real com precisão e a validação *Black-Box* coloca que o modelo global deve representar o mundo real com precisão também. A Validação de experimentação determina que os procedimentos experimentais adotados estão fornecendo resultados que sejam suficientemente adequados ao propósito em questão. Além disso, métodos adequados devem ser adotados para pesquisar o espaço da solução para garantir que o aprendizado seja maximizado e que soluções adequadas sejam identificadas. A validação de solução determina que os resultados obtidos a partir do modelo da solução proposta são suficientemente precisos com os resultados obtidos no sistema real, sendo intrínseca ao próprio estudo de simulação (ROBINSON, 2004).

### 3.2.1. A SBA como método para modelagem e simulação

Um modelo analítico para reprojeter áreas industriais com objetivos sustentáveis, é de acordo com Romero e Ruiz (2014) e Mantese e Amaral (2017) o método de SBA, sendo entidades individuais que formam o sistema.

A SBA ou sistemas multiagentes são uma classe de modelos computacionais projetados para simular ações e interações entre agentes autônomos, que podem ser entidades individuais e coletivas, como organizações, com o objetivo de estudar efeitos em nível agregado, produzido pela interação entre os agentes em todo o sistema. A SBA ganhou proeminência através de novas ideias sobre as limitações de pressupostos e abordagens tradicionais, bem como avanços computacionais que permitem melhor modelagem e análise de sistemas complexos e particularmente no domínio da sustentabilidade. SBA no campo da sustentabilidade industrial estão surgindo e vários autores identificaram o valor potencial e a eficácia, e defenderam tais abordagens de simulação para suas características. A principal vantagem é a capacidade de levar em conta heterogeneidade e interações comportamentais, o que pode levar a um comportamento emergente que não seria óbvio ou que seria muito difícil prever em um modelo agregado como poderia ocorrer nas atuais redes de manufatura (DEMARTINI; TONELLI; BERTANI, 2018).

Macal (2016) ao considerar que não existe uma definição de SBA universalmente aceita, apresenta 4 definições, que contemplam quatro características principais dos agentes que compõe a SBA, individualidade dos atores, autonomia específica, interatividade dos membros e adaptabilidade. A SBA individual representa os agentes de forma individual com características diversas. Na SBA autônoma os agentes têm comportamentos internos, lhes permitindo serem autônomos, capazes de detectar qualquer condição que ocorra no modelo a qualquer momento e agir sobre o comportamento apropriado em resposta. Na SBA interativa, os agentes interagem com outros agentes e com o ambiente. Por fim, a SBA adaptativa é aquela em que na interação, os agentes autônomos mudam de comportamento conforme aprendem, encaram novas situações, ou quando entram novos agentes ao sistema.

A SBA é uma abordagem adequada para estudar sistemas complexos que consistem em entidades autônomas de tomada de decisão, como redes de produção. Assim, cada entidade é modelada como um agente independente, que é fornecido com: um conjunto de objetivos que ela deve realizar por meio da interação com outros agentes e o ambiente e um conjunto de regras de engajamento social, impulsionando tais interações. O comportamento do sistema surge espontaneamente das interações entre os agentes e entre os agentes e o ambiente, ao invés de ser definido pelo modelador. As interações entre agentes são frequentemente complexas e não-lineares; portanto, padrões, estruturas, comportamentos e fenômenos que não são explicitamente programados no modelo podem emergir espontaneamente. Assim, através desses modelos, os pesquisadores são capazes de considerar aspectos que não podem ser investigados por modelos analíticos. Em uma SBA, as regras de decisão devem ser tão realistas

e precisas quanto possível, caso contrário, simulações podem levar a resultados errados (YAZAN et al, 2018).

A SBA é reconhecida como uma metodologia apropriada para investigar a cooperação entre atores em sistemas complexos, uma vez que considera a heterogeneidade dos agentes e propõe um sistema auto-organizado (YAZAN et al, 2018).

A SBA é para Fraccascia, Giannoccaro e Albino (2017) uma das técnicas mais adequadas para estudar sistemas adaptativos complexos. Nesta, o agente é caracterizado principalmente por: um determinado conjunto de metas e ações a serem cumpridas; e um determinado conjunto de regras de engajamento social, impulsionando as interações com outros agentes e o meio ambiente.

Batten (2009) afirma que o objetivo da SBA não é prever o futuro, mas explorar os futuros alternativos que podem se desenvolver sob diferentes condições. Segundo Lange et al (2017) ela permite mostrar quais caminhos de transição provavelmente ocorrerão em determinados cenários de intervenção de projeto e quais caminhos são estáveis ou não. Assim, ela é uma ferramenta promissora para a avaliação de decisões de projetos tecnológicos e organizacionais em redes simbióticas.

A SBA é caracterizada por Romero e Ruiz (2014) da seguinte forma: a abordagem do modelo é indutiva onde o comportamento dos agentes influencia no comportamento do sistema. A unidade de análise são as regras dos agentes, onde o comportamento do sistema emerge do comportamento dos agentes e suas interações. A expressão formal é baseada em sentenças lógicas que definem as regras de comportamento dos agentes. O modelo é representado pela população de agentes, composta por entidades autônomas, heterogêneas e independentes, com objetivos e propriedades próprias e com habilidades sociais para interagir entre os membros e seu entorno.

As variáveis pertinentes para a simulação dos agentes são recursos, resíduos, tipo e quantidade de produtos, custos, nível de confiança, nível de eficiência operacional e nível de inovação. As regras de comportamento para eles envolvem coeficiente econômico, ambiental e estratégico, índice econômico, ambiental e social, grau de vantagem na decisão, objetivos individuais e estratégias (ROMERO; RUIZ, 2014).

Uma vez que se queira desenvolver autômatos para representar os seres humanos, que são muito mais complexos em seu processamento interno e em seu comportamento, entra-se no mundo da simulação baseada em agentes (BATTEN, 2009). O agente geralmente implica em uma entidade autônoma e inteligente que pode interagir ou se comunicar com outras entidades autônomas e inteligentes.

A característica mais importante da SBA é a perspectiva do agente que é levada em consideração em um sistema composto por agentes. O constructo fundamental desta modelagem é o agente e seu comportamento, sua idiossincrasia afeta suas próprias ações, as ações de todos os demais agentes do sistema e a do ambiente em si (Macal, 2016).

Cada agente carrega suas propriedades, hierarquia e organização, buscando atender lucros e satisfazer um mercado específico, porém juntos buscam colaborar e cooperar para obter ganhos ambientais (ROMERO; RUIZ, 2013).

De acordo com a definição de Wooldridge e Jennings (1995), um agente é um sistema computacional que interage com um ambiente que pode ser dotado de independência, habilidade social (interações ocorrem entre as entidades através de uma linguagem de comunicação), re-atividade, pró-atividade e capacidade adaptativa.

A característica fundamental de um agente é sua capacidade de se adaptar e mudar seus comportamentos. Adaptação como resultado de aprendizagem, quando o agente lembra de suas decisões em situações anteriores e dos resultados obtidos, ou ainda quando o agente cria novos comportamentos ao enfrentar situações novas (Macal, 2016).

De acordo com Holland (2006) um agente pode compor suas ações a partir de uma combinação de regras, em vez de exigir uma regra específica para cada situação possível. Um agente definido como típico tem cinco componentes principais:

- a) Uma lista de classificadores. Essa lista pode ser modificada de várias maneiras, conforme o agente se adapta ao seu ambiente;
- b) Uma lista de sinais. Esta lista muda a cada etapa de tempo, de acordo com a saída dos classificadores que vencem a competição;
- c) Um conjunto de detectores. Os detectores codificam informações sobre o ambiente em sinais;
- d) Um conjunto de efetores. Os efetores têm condições, como os classificadores, que são satisfeitas pelos sinais. A parte de ação de um efetor causa algumas alterações no ambiente;
- e) Um conjunto de reservatórios. Os reservatórios determinam as “necessidades” do agente (equivalente a comida, abrigo e similares). Certas ações efetoras, em locais apropriados no ambiente, fazem com que os reservatórios sejam preenchidos. Em um modelo típico, os reservatórios são exauridos a uma taxa constante. Quando um reservatório está quase vazio, um “sinal de baixo reservatório” continua aparecendo na lista de sinais. A eficiência com que o

agente consegue preencher seus reservatórios dá uma medida de desempenho. A aptidão é assim definida implicitamente.

A principais características da SBA são conforme Macal e North (2010):

- a) Um agente é autossuficiente, modular (com limite definido) e exclusivo;
- b) Um agente é autônomo e auto-direcionável, e possui comportamento que relaciona informações provindas de interações com outros agentes e com o ambiente;
- c) O agente possui um estado, que se altera conforme o passar do tempo;
- d) Um agente é social, por ter interações dinâmicas com outros agentes que influenciam em seu comportamento.

Para modelagem de agentes é necessário a definição de uma arquitetura também. Segundo Maes (1991), a arquitetura de agente pode ser definida como uma forma de construir agentes a partir de módulos e como estes módulos interagem, dependendo de um conjunto de ações e do estado interno de cada agente.

Segundo Müller (1998) a arquitetura de agente se classifica em quatro tipos: agentes reativos, agentes deliberativos, agentes de interação e agentes híbridos. Estas são procedentes de estudos de Inteligência Artificial nos anos 90, porém, as publicações atuais envolvendo agentes ou *softwares* de SBA utilizam estas mesmas arquiteturas ou extensões.

Os agentes reativos escolhem e definem uma ação (resposta) relacionada com a ocorrência de estímulos (eventos) que ele percebe no ambiente ou na interação com outros agentes. As decisões são baseadas em um conjunto de informações e com regras simples de ação (MULLER, 1998).

Os agentes deliberativos possuem um processo explícito para escolha da ação a ser realizada. As arquiteturas deliberativas são baseadas na arquitetura *Belief-Desire-Intention* (BDI), composta por crenças (*Belief*), que representa as informações que o agente possui do ambiente, desejo (*Desire*), que representa o estado de motivação do agente e deliberação (*Intention*) que representa a ação do agente no ambiente. Para Wooldridge (1996) os desejos (*Desire*) são as tarefas ou objetivos que foram atribuídas ao agente (MULLER, 1998).

O agente de interação é responsável por atualizar as crenças a partir de informações detectadas no ambiente, gerando novos desejos. Dessa díade, este agente seleciona uma ação a ser executada com base nas intenções atuais e conhecimento procedural do agente. Os agentes híbridos possuem mais de uma das características apresentadas anteriormente (MULLER, 1998).

Macal e North (2006) apresentam ainda algumas características úteis: o agente pode ser adaptativo através da aprendizagem e da memória; um agente pode ser orientado a objetivos, respeitando seu comportamento, desta forma ele compara as saídas com seu comportamento e objetivos para ajustar suas respostas; um agente pode ser heterogêneo, pois suas características dependem da extensão, sofisticação, nível de informação, visão de mundo, relação com outros agentes, memória interna e utilização de recursos.

Os agentes são projetados para trabalharem juntos para atingir um objetivo desejado, normalmente, seu objetivo é pré-especificado e eles são projetados para alcançá-lo com uma tolerância a erros muito baixa. Embora intencionais, os sistemas nos quais agentes humanos interagem com sistemas ecológicos, por exemplo, geralmente exibem resultados em aberto. Aqui, o comportamento coletivo é desconhecido de antemão, mas surge durante a simulação (BATTEN, 2009).

Eles têm capacidade específica, ainda que limitada, para modificar seu ambiente ou seu *status* no ambiente. Para Ghali, Frayret e Ahabchane (2017) os agentes são considerados sociais quando são projetados para se comunicar com outras pessoas diretamente ou indiretamente. Assim, a estrutura de um coletivo multiagente é dinâmica e dependente do caminho, pois emerge tanto de seu comportamento, quanto da maneira como trocam e percebem informações.

Na SBA, as regras que regem os comportamentos dos agentes podem variar de simples instruções "se-então" a algoritmos de aprendizado de máquina bastante sofisticados que fornecem aos agentes uma capacidade de aprendizado para modificar e melhorar seu comportamento durante a simulação. Os parâmetros do modelo são definidos para representar uma situação real de interesse, e o modelo é executado por várias centenas de iterações, até que uma solução satisfatória seja encontrada. Os modelos de simulação fazem uso de dados históricos para garantir que possam replicar o comportamento qualitativo do sistema real (BATTEN, 2009).

É importante notar que a SBA pode fornecer informações valiosas sobre a dinâmica dos mundos reais que ela emula. Como uma variedade de agentes interagindo dentro de uma simulação social, por exemplo, os resultados mostram como seus comportamentos coletivos governam o desempenho de todo o sistema. Isso é benéfico para as partes interessadas, porque elas podem ver um papel para si mesmas (como agentes) na simulação, bem como uma oportunidade de aprender com os resultados simulados (BATTEN, 2009).

A SBA é uma maneira de explorar o comportamento coletivo que um sistema de auto-organização pode exibir, estudando uma série de resultados emergentes associados aos muitos caminhos alternativos que tal sistema pode seguir sob diferentes condições - agora e no futuro.

Neste sentido, pode-se começar a identificar as condições sob as quais alguns dos resultados mais desejáveis podem ter maior probabilidade de surgir (BATTEN, 2009). Alguns passos para aplicação da SBA são propostos por Lange et al (2017), conforme Quadro 9.

Quadro 9 - Passos para aplicação da SBA

Passo	Método	Resultado pretendido
Formalização do conceito	Conceitualização do modelo iterativo e métodos de participação do tipo "mostrar e contar"	Descrição precisa do modelo conceitual: estrutura de dados do <i>software</i> , ontologia
Formalização do modelo	Conceitualização do modelo iterativo e métodos de participação do tipo "mostrar e contar"	
Implementação do <i>software</i>	Escolha do <i>software</i> Modelo do <i>software</i>	Modelo do <i>software</i>
Verificação do modelo	Teste do modelo iterativo, depuração, interação agente-simples, e interação multiagente	Modelo testado
Experimentação	Construção e experimentação de cenários, isso pode incluir o efeito de um projeto organizacional ou tecnológico específico em diferentes contextos. Tais como cenários de pior caso em fatores internos (por exemplo, falência) e externos (por exemplo, tecnologia disruptiva)	Simulação do cenário de SBA do sistema sócio-técnico

Fonte: Lange et al (2017).

De acordo com Macal e North (2006) o processo de se construir modelos baseados em agentes possui alguns aspectos únicos devido ao fato de se tomar por base a perspectiva de agentes ao invés da perspectiva baseada em processos da modelagem e simulação tradicional. Os autores enumeram os seguintes passos gerais para a construção de modelos de agentes: 1) agentes – identificar os tipos de agentes e seus atributos; (2) ambiente – definir o ambiente no qual os agentes irão habitar e interagir; (3) métodos de agentes – especificar os métodos pelos quais os atributos dos agentes serão atualizados em resposta às interações entre agentes e entre agentes e ambiente; (4) interações de agentes – adicionar os métodos que controlam que agentes interagem, quando interagem, e como interagem durante a simulação; (5) implementação – implementar o modelo de agentes em um sistema computacional.

O modelo desejado pela SBA deve produzir resultados que correspondam a realidade, e com isso uma explicação do modelo para a vida real é simples e rápida de ser realizada. Portanto, a SBA provém estruturas para modelar interações e comportamentos, sendo o método líder para modelar pessoas, organizações e a sociedade (MACAL, 2016).

A SBA oferece uma estrutura robusta que permite descrições elaboradas, explicações, previsões e teorias sobre organizações e seus processos. Também auxilia no desenvolvimento

de ferramentas que apoiam a tomada de decisões estratégicas e operacionais e a resolução de problemas (NORTH; MACAL, 2006).

Para compreender a utilização da SBA no contexto da SI, foi realizado uma busca na base de dados da SCOPUS, relacionando os dois temas. De acordo com o protocolo RBS III (APÊNDICE C) foram encontrados os seguintes trabalhos apresentados no Quadro 10, divididos em autores, ferramentas utilizadas na pesquisa e na aplicação desenvolvida.

Quadro 10 - Artigos de SI com aplicação da SBA

<b>Autores (ano)</b>	<b>Ferramenta</b>	<b>Aplicação</b>
Zhu e Ruth (2013)	Netlogo <i>platform</i>	Análise do impacto de erupções no sistema, considerando a mudança de local ou fechamento de empresas.
Batten (2009)	NEMSIM: Agent-based Simulator for Australia's National Electricity Market	Fomentar a SI e explicar seu possível desenvolvimento ao longo do tempo.
Romero e Ruiz (2014)	-	Modelo analítico para favorecer a utilização de estratégias sustentáveis para reprojeter áreas industriais em EIP
Gang, Xiao e Hoong (2014)	Swarm library	Avaliar e analisar um sistema com SI para compreender as mudanças nas condições do processo de construção da SI
Zhu e Ruth (2014)	Netlogo <i>platform</i>	Análise de três padrões de crescimento para SI
Albino, Fraccascia e Giaconaro (2016)	-	Estudar o efeito dos contratos na emergência do sistema
Mantese e Amaral (2017)	Netlogo <i>platform</i>	Validar indicadores de SI
Wang, Feng e Chu (2013)	Swarm library	Simular a evolução de um sistema hipotético a base de carvão e as mudanças das condições de simbiose
Yazan et al (2018)	-	Investigar as interações entre membros de um caso de SI
Ghali, Frayret e ahabchane (2017)	Netlogo <i>platform</i>	Simular e prever os impactos dos fatores sociais na criação de sinergias e na emergência da SI
Fraccascia, Giannoccaro e albino (2017)	-	Simular a emergência na rede de SI
Zheng e Jia (2017)	Netlogo <i>platform</i>	Investigar a influência na promoção de estratégias de capacidade institucional durante a identificação de conjuntos de oportunidades de sinergias
Lange et al (2017)	-	Guiar intervenções de projeto sócio-técnicas em redes de agricultura urbana simbiótica
Fraccascia e Yazan (2018)	-	Simular a emergência e operações de redes de SI auto-organizadas em três cenários
Mantese e Amaral (2018)	Netlogo <i>platform</i>	Avaliação comparativa de indicadores de SI em dois cenários
Demartine, Tonelli e Bertani (2019)	AnyLogic <i>software</i>	Dar suporte à análise e reprojeto de áreas industriais baseado na estratégia sustentável com SI
Mantese, Piere e Amaral (2016)	Netlogo <i>platform</i>	Representar as interações entre empresas em um EIP e permitir o cálculo dos indicadores de SI
Chandra-Putra, Chen e Andrews (2015)	Netlogo <i>platform</i>	Examinar as ações e interações de agentes com outros agentes, com o ambiente e com o sistema como um todo

Fonte: Elaboração própria.

Foram encontrados dezoito artigos, dos quais Mantese e Amaral aparecem em três deles, com suas pesquisas de aplicação da SBA para validar, comparar e calcular indicadores de SI em um parque industrial ecológico.

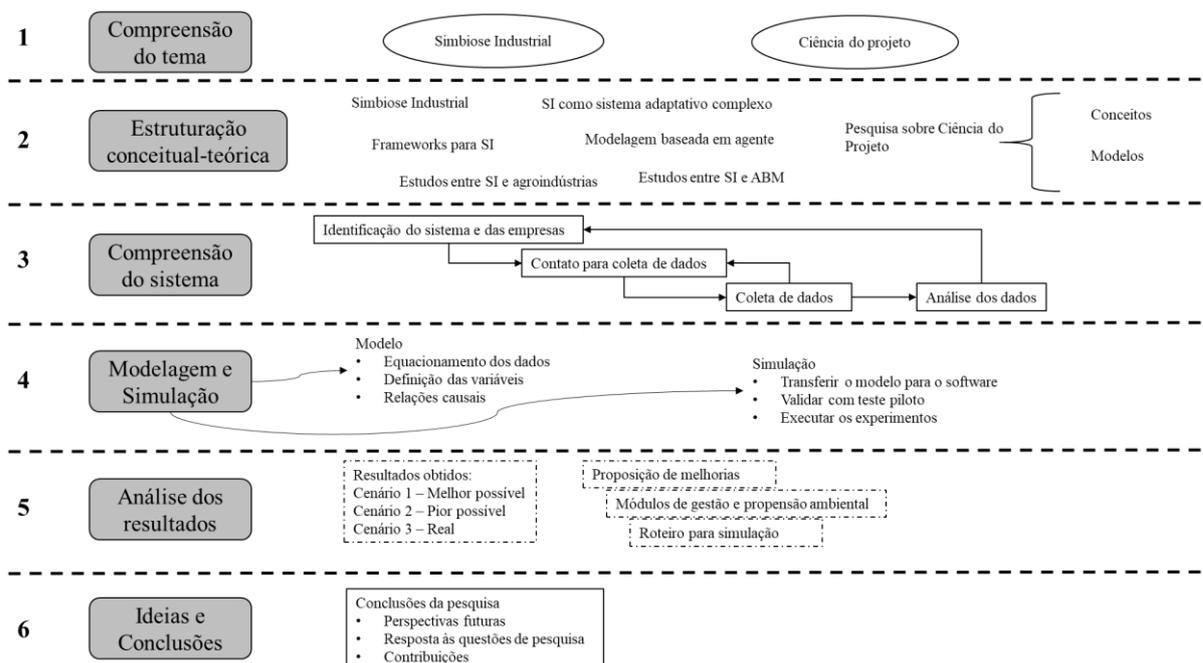
O *software* que foi mais utilizado foi o Netlogo por sua aplicabilidade e facilidade de acesso, atendendo as expectativas dos autores a um custo zero. As aplicações são relacionadas na maioria dos casos com a análise da evolução da SI, das interações dos membros e das emergências que possivelmente ocorrem.

### 3.3. Procedimento de pesquisa

O método desenvolvido para construção desta tese e conseqüentemente para responder as questões de pesquisa e ao objetivo está descrito neste tópico.

O procedimento de pesquisa está apresentado conforme a Figura 34, onde é possível identificar as etapas do estudo, baseado nas etapas de simulação de Kelton, Sadowski e Sadowski (2007) e no modelo de Hubka e Eder (1995).

Figura 34 - Etapas do método realizado nesta pesquisa



Fonte: Elaboração própria.

O método de pesquisa é composto por seis etapas para estruturação de um sistema agroindustrial com SI.

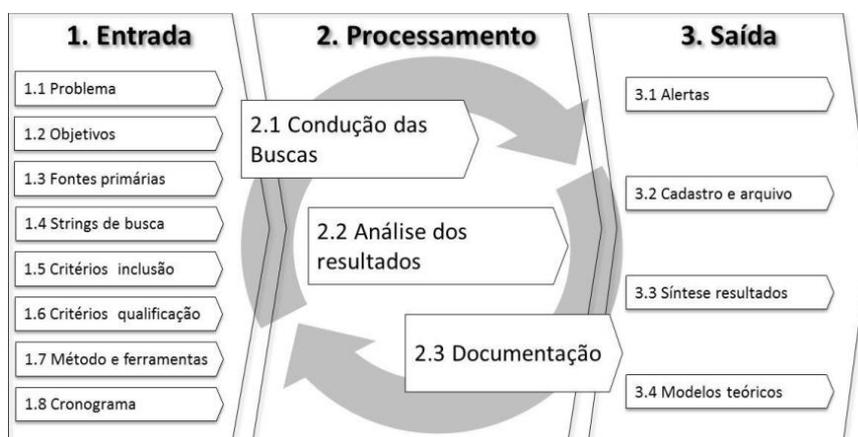
A etapa 1 consiste na **compreensão do tema**, ou seja, são estudados os temas que permeiam as questões de pesquisa, sendo a SI e a ciência do projeto. Para a primeira foi necessário entender seu funcionamento e principais características apresentadas na literatura,

para identificar sua contribuição sustentável ao sistema já existente. Constatou-se que a principal pesquisadora e influenciadora deste conceito é a Marian Ruth Chertow da Universidade de Yale e que a SI de fato favorece um desenvolvimento ambiental maior, utilizando os resíduos ao máximo e integrando os agentes participantes em comunidade. Entendeu-se também que para ajudar na evolução e não falha da SI em um sistema, a ciência do projeto têm sua relevância e fornece auxílio neste sentido, o que foi evidenciado nos trabalhos de Lange et al (2017) e Sopha et al (2010), e sua base conceitual está em Pugh (1991), Hubka e Eder (1995) e Paul e Beitz (1996).

A etapa 2 incide na **estruturação conceitual teórica** para a realização de mais estudos a respeito dos temas mencionados na etapa 1. Para obter uma vasta compreensão da literatura sobre as publicações de SI foi realizado a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), que é um método sistemático de busca e análise de artigos (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

A RBS foi baseada no roteiro de Conforto, Amaral e Silva (2011), o qual é composto por três fases com quinze etapas distribuídas entre elas, como mostrado na Figura 35.

Figura 35 - Roteiro de RBS



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

A fase um é a entrada, onde encontra-se as etapas de definição do problema e do objetivo, as fontes primárias com os principais autores, a *string* de busca com as palavras chaves e relevantes. Tem-se o critério de inclusão para escolher os artigos, os critérios de qualificação para definir a importância do artigo, o método e ferramentas que serão utilizados para a busca e o cronograma quando necessário (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

A fase dois apresenta a condução das buscas nas bases de dados relevantes e em periódicos importantes, com aplicação dos filtros 1, 2 e 3 com um aprofundamento relativo da leitura dos artigos. No final tem-se a contabilização e análise dos artigos escolhidos e a documentação (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

A fase três aplica alertas para bases e periódicos relevantes para atualizações, cadastra os artigos em um lugar específico e apresenta os resultados para o prosseguimento da pesquisa (CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011).

Para este trabalho a RBS foi utilizada em três oportunidades, uma mais geral e central para as pesquisas em SI, a fim de entender suas características, benefícios, aplicações e os *frameworks* para seu desenvolvimento, este protocolo pode ser visto no Apêndice A. Outra foi realizada para identificar os artigos que utilizaram a SI no setor da agroindústria para entender este contexto e o que foi desenvolvido na literatura até o momento, protocolo presente no Apêndice B. E por fim, ao caracterizar a SI como um sistema adaptativo complexo, realizou-se uma RBS para encontrar as pesquisas de SI que utilizaram a SBA em seus estudos, considerando que a simulação nesta especificidade é adaptativa e complexa, para simulação e validação ou qualquer outra aplicação, com o protocolo apresentado no Apêndice C.

Ainda na etapa 2 foi realizada uma busca exploratória na literatura sobre os conceitos de Ciência do projeto para entender a possibilidade de auxílio para a estruturação da SI em um sistema com aspectos agroindustriais. Optou-se por focar nos autores considerados chaves neste tema, como Pugh (1991), Hubka e Eder (1995) e Paul e Beitz (1996), os quais apresentam modelos para projeto e conseguem responder ao esperado por esta pesquisa, sendo estas referências usadas de forma recorrentes por artigos atuais. O mesmo foi realizado para compreender o conceito de simulação.

Por fim, para validar e poder analisar a estruturação da SI no sistema agroindustrial identificou-se a importância de apresentar os conceitos de sistemas adaptativos complexos e a ferramenta SBA, utilizada em alguns artigos relevantes da área, tais como Romero e Ruiz (2014), Batten (2009) e Yazan et al (2018). Apresentando uma revisão de seus conceitos neste tópico de metodologia.

A etapa 3 consiste na **compreensão do sistema**, onde foi mapeada a região de estudo, no caso a cidade de Dourados, pela característica agroindustrial, pela quantidade de empresas, além de ter um tamanho (número de variáveis) possível de ser analisada nesta pesquisa. O sistema conta com 4.000 km<sup>2</sup>, 220.000 habitantes e diversas empresas agroindustriais, fazendas de agricultura e pecuária. Cada elemento foi apresentado no tópico quatro.

Foram realizados contatos por *e-mail* e por telefone, a fim de marcar visitas técnicas ou entrevistas com os gestores sobre a geração de resíduos de cada um e a possibilidade de desenvolver um sistema com SI. Os *e-mails* para coleta de dados foram enviados a primeira vez em outubro de 2017, e a cada dois meses de janeiro de 2018 até junho de 2019. Neste período,

realizou-se ligações telefônicas para contato também, para empresas que não tivessem respondido nenhum *e-mail* até julho de 2018.

Das 16 empresas contatadas (incluindo dois laticínios e duas usinas sucroalcooleiras) seis delas possibilitaram visitas técnicas, totalizando 37,5%, sendo dois laticínios, uma usina, a processadora de carne de frango, a beneficiadora e produtores rurais. As visitas ocorreram na forma de observação do processo produtivo, e durante as mesmas foi possível pedir os dados necessários para este trabalho. As informações passadas foram relativas às quantidades de resíduos e sobre a destinação atual, dados sobre custo foram negados por questões éticas de cada empresa e a possibilidade de desenvolver SI em Dourados-MS foi considerada interessante, porém não foi comentada.

As demais empresas não permitiram visitas em suas unidades, porém responderam os *e-mails* com dados de resíduos que eles conheciam a quantidade e a forma de destinação atual, sempre considerada como de acordo com a lei brasileira. A processadora de carne suína, a farinha e os produtores de granja de frango não responderam os *e-mails* e não possibilitaram acesso à dados, contudo o primeiro e o último disseram por telefone que sua destinação está conforme a lei brasileira e é realizada de forma correta.

Faz-se necessário ressaltar que nenhuma empresa possibilitou acesso à documentos de qualquer natureza quando indagados sobre seus resíduos, alegando que a variabilidade é alta no setor agroindustrial e que somente é possível fornecer uma média.

Durante as visitas nas empresas foram realizadas algumas perguntas sobre a gestão dos resíduos da empresa aos responsáveis. As perguntas foram conduzidas de acordo com o andamento da visita técnica, com respostas imediatas ou com promessas de respostas futuras por *e-mail*. As questões realizadas foram as seguintes: Quais são os resíduos da empresa? Quais são as quantidades médias de resíduos gerados? Como a empresa gere seus resíduos? Quais os critérios para a destinação? Qual o conhecimento da empresa sobre Simbiose Industrial? Qual sua opinião sobre um sistema simbiótico em Dourados-MS? As informações pertinentes a estas perguntas conseguidas nas visitas estão no Quadro 36 dos resultados.

Foram enviados *e-mails* explicando a SI e a variável propensão ambiental e pedindo que cada agente classificasse o sistema nos oito elementos da variável, esta será introduzida e explicada posteriormente neste trabalho. As 16 empresas foram contatadas em junho de 2019 e lembradas a cada mês, com a obtenção de 6 respostas, com a taxa de retorno de 37,5%, acima dos 5% recomendado pela literatura.

Para obtenção da classificação da propensão ambiental na região de Dourados-MS por pesquisadores da área de gestão ambiental e gestão de resíduos sólidos, foram enviados quatro

*e-mails* para três pesquisadores da UFGD e um da UFMS de Campo Grande, onde foi possível obter as quatro respostas. Estes *e-mails* continham uma breve explicação sobre a propensão ambiental e os Quadros com a descrição de cada nível de cada elemento, e também uma tabela para classificação conforme opinião de cada pesquisador. Para estes também foram enviados *e-mails* com o *link* do modelo computacional para validação dos resultados obtidos com a simulação.

Com a falta de acesso à todas as informações necessárias sobre a geração de resíduos de cada agente, realizou-se a complementação dos dados com base em pesquisas disponíveis na literatura sobre cada setor, com ênfase nos dados do Sistema Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Nota-se nesta etapa a diferença quando os dados reais são confrontados com a literatura, pois neste setor há muitas variáveis importantes que estão em constante mudanças e dificilmente se repetem ao longo dos anos. Um exemplo clássico é o clima, o qual envolve umidade, temperatura, quantidade de chuvas, outro exemplo é o solo e sua quantidade de nutrientes, minerais e água, além das características e especificidades de cada planta e animal.

Como mostrado na Figura 34, alguns dados coletados ou respondidos pelas empresas traziam a necessidade de complementação destes, por exemplo, a empresa de abate de frango fornecia dados sobre vísceras e penas, mas não falava sobre sangue. O que gerava um novo contato para possível complementação dos dados.

Nesta etapa 3 ocorreu a análise dos dados recebidos, onde em alguns momentos notou-se a existência de outra empresa para o estudo, uma empresa ambiental, que realiza a destinação final de resíduos sólidos na cidade. Esta empresa possibilitou a visita técnica, porém sua função principal é aterrar todos os resíduos recebidos, não sendo realizadas outras formas de destinação para as empresas, além do que já é realizado pelo aterro público municipal.

A etapa 4 consiste na **modelagem e simulação**. Após a análise dos dados, estes são equacionados para construção do modelo, realiza-se também a causalidade das variáveis identificadas, definindo suas relações diretas e indiretas e a importância de cada uma. Neste momento elencou-se as variáveis conforme sua relevância para o objetivo, modelando-as para entender seu comportamento na simulação e responder às questões de pesquisa. Com isso o modelo equacionado é transferido para o *software* de simulação, para executar e analisar os resultados.

Ressalta-se que esta etapa passou por diversos ciclos de alterações e melhorias para obter representação mais fiel do sistema com SI. As variáveis e medidas foram alteradas para contemplar os aspectos observados empiricamente.

Neste caso foi escolhido o Netlogo, por aparecer recorrentemente na literatura e ser *Open Source*, além de ser o mais indicado para modelagem de sistemas complexos (Wilensky, 1999). No *software* foi realizado um teste piloto para testar o modelo e posteriormente foram realizadas as execuções para análise dos comportamentos e melhores cenários.

O NetLogo é um ambiente de modelagem programável para simular fenômenos naturais e sociais. Foi criado por Uri Wilensky em 1999 e está em desenvolvimento contínuo desde o Centro de Aprendizagem Conectada e Modelagem Baseada em Computador (WILENSKY, 2018).

O NetLogo é um sistema de desenvolvimento de modelos baseado em agentes que possui linguagem de programação própria e uma interface visual que permite o acompanhamento das simulações (WILENSKY, 1999; WILENSKY & REISMAN, 2006).

O NetLogo é um ambiente multi-plataforma para modelagem de ambientes multi-agentes. É particularmente bem adaptado para modelar sistemas complexos que se desenvolvem ao longo do tempo. Os modeladores podem instruir centenas ou milhares de agentes, todos operando de forma independente. Isto torna possível explorar a conexão entre o comportamento no micro-nível de indivíduos e no macro-nível de padrões que emergem a partir da interação de muitos indivíduos (WILENSKY, 2018).

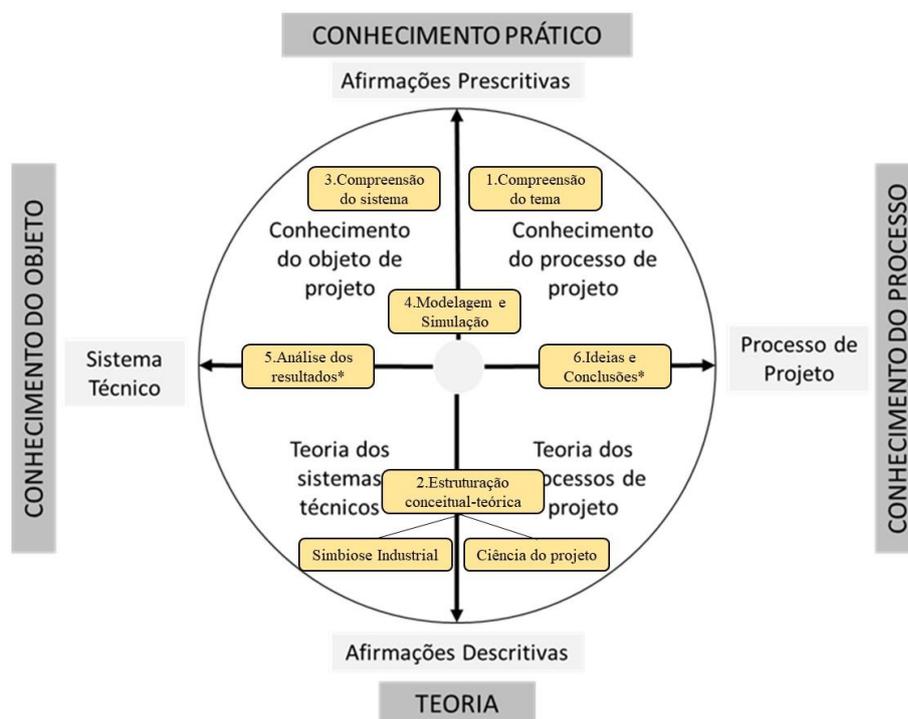
O NetLogo possui uma extensa documentação e tutoriais, além de vir acompanhado da Models Library, uma ampla coleção de simulações pré-escritas que podem ser utilizadas e modificadas. Estas simulações abordam conteúdos de áreas das ciências naturais e sociais. O NetLogo é a última geração da série de linguagens de modelagem multi-agentes que teve início com o StarLogo (<http://education.mit.edu/starlogo/>). Baseado nas funcionalidades do StarLogoT (<http://ccl.northwestern.edu/cm/starlogoT/>), com acréscimo de novos recursos e uma linguagem e interface com usuário redesenhadas. Desenvolvido em Java, pode ser executado na maioria das plataformas (Mac, Linux, Windows etc.). Os modelos podem ser executados como applets Java dentro de um navegador web. (NetLogo) São algumas das características oferecidas pelo NetLogo: estrutura de linguagem simples; agentes móveis (*turtles*) caminham sobre uma grade de agentes estacionários (*patches*), criação de ligações entre *turtles* para construir agregados, redes e grafos de agentes; visualização 2D e 3D do modelo; controle de velocidade de simulação; monitores que permitem inspecionar e controlar os agentes (WILENSKY, 2018).

A etapa 5 consiste na **análise dos resultados** para avaliação dos comportamentos obtidos, para identificar as melhores tomadas de decisão e assim responder às questões de pesquisa. Neste momento entende-se qual o melhor cenário, quais as variáveis que mais influenciaram e quais pontos precisam de melhorias em futuras pesquisas, além da discussão de cada resultado obtido e sobre quais perspectivas.

A etapa 6 consiste nas **ideias e conclusões**, trazendo novos apontamentos a partir do trabalho e fechamento do método com suas contribuições.

As etapas são colocadas na representação do modelo de projeto de Hubka e Eder (1995), como Figura 36. Entende-se nesta pesquisa que primeiro realiza-se um conhecimento sobre o processo de projeto existente na literatura, aborda-se a teoria existente sobre processo de projeto e o sistema técnico (SI), passa-se para o conhecimento do objeto, sua modelagem aos olhos do projeto. Após estas etapas tem-se a confrontação dos resultados do sistema real com a teoria, para enfim propor novas ideias à teoria do processo de projeto com SI no setor agroindustrial.

Figura 36 - Representação das etapas no modelo de Hubka e Eder (1995)



Fonte: Elaboração própria.

### 3.4. Racionalidade da pesquisa

Para estabelecer esta pesquisa como de caráter quantitativo e entender que para atingir o objetivo seria necessário realizar o procedimento de pesquisa de modelagem e simulação, esta tese seguiu os conceitos identificados na teoria de sistemas adaptativos complexos. Como o

objeto parte da ideia de sistema e contém agentes que pensam individualmente e evoluem com o decorrer do tempo, esta teoria foi necessária. A partir dela foi possível identificar a simulação baseada em agentes para lidar com tal especificidades.

Um sistema é composto por agentes heterogêneos com objetivos próprios e que se comunicam de forma integrada (DELAURENTIS; AYYALASOMAYAJULA, 2009). Os sistemas devem ser vistos de uma maneira holística - ao mesmo tempo reconhecendo que todo sistema também é composto de partes. Esse princípio orienta o engenheiro de sistemas a equilibrar a variedade de necessidades - muitas vezes conflitantes - e a otimizar em geral, em vez de otimizar uma parte (HASKINS, 2007). Ponto importante para a estruturação da SI em um sistema, mostrando a necessidade de compreender os limites, as características e principalmente os agentes (partes) com seus desejos que devem ser considerados.

Para ser complexo o sistema realiza uma conectividade dinâmica e incerta, com a abertura do sistema, heterogeneidade dos agentes e várias perspectivas. Os sistemas adaptativos complexos ocorrem quando são redes com grande número de agentes que interagem de forma criativa. Realizando alterações de forma inovadora e aprendendo com os novos resultados, com adaptações a outros agentes e as mudanças de condições. (DELAURENTIS; AYYALASOMAYAJULA, 2009). Como a SI possui características específicas tais como a evolução conjunta de membros, auto-organização e emergência de sinergias e interações, esta se encaixa perfeitamente neste paradigma (CHERTOW; EHRENFELD, 2012; FRACCASCIA; GIANNOCARO; ALBINO, 2017; ROMERO; RUIZ, 2013).

De acordo com Graedel e Allenby (2010) o conceito de SI como um Sistema Adaptativo do Complexo deve ser estudado sob a perspectiva de projeto, além da tradicional abordagem explicativa. E Batten (2009) e Romero e Ruiz (2014) atentam para o uso da SBA para obter sucesso na estruturação de SI em um sistema, onde está analisa o comportamento dos agentes para o sistema, e a evolução da SI no decorrer das decisões e características impostas.

A SBA é um paradigma de modelagem computacional que permite descrever como qualquer agente se comportará. A metodologia da SBA codifica o comportamento de agentes individuais em regras simples para que se possa observar os resultados das interações desses agentes. Essa técnica pode ser usada para modelar e descrever uma ampla variedade de processos, fenômenos e situações, mas é especialmente útil ao descrever esses fenômenos como sistemas complexos (WILENSKY; RAND, 2015), como ocorre neste caso da SI em um sistema agroindustrial.

### **3.5. Definição dos critérios para compor os agentes, as variáveis e os parâmetros**

Para a composição dos agentes no modelo necessita-se primeiramente da definição do sistema industrial a ser analisado. Todas as empresas inseridas nesta delimitação são consideradas como agentes, desde que tenham uma possibilidade de participar efetivamente do desenvolvimento da SI (ROMERO; RUIZ, 2014; LANGE et al., 2017).

Em alguns casos, opta-se por um setor específico para composição do sistema, como ocorreu no caso desta tese, na qual optou-se por considerar o setor agroindustrial, por ser o mais relevante da cidade estudada, conforme IBGE (2018). Esses módulos podem ser ampliados no decorrer do projeto de desenvolvimento da SI.

Além das empresas participantes, deve-se compreender os agentes sociais que não realizam produção, porém podem favorecer ou dificultar a tomada de decisão das empresas do sistema, influenciando em suas estratégias, como é o caso do estado, mercado consumidor ou instituições de pesquisa. Em alguns sistemas pode haver a presença de organizações não governamentais, ou grupos específicos que possam exercer tal papel também (SPEKKINK, 2015; BOONS; SPEKKINK; MOUZAKITIS, 2011).

As variáveis são todas aquelas relacionadas diretamente ou indiretamente com a geração e utilização de resíduos e com os possíveis relacionamentos entre os agentes. Para geração de resíduos tem-se sua frequência de geração, suas características (perecibilidade, temperatura, peso, etc.), e quantidade média por unidade de tempo escolhida, já para a utilização de resíduos, tem-se a demanda média e as características necessárias para processamento. Para os relacionamentos é importante considerar os projetos possíveis, a visão compartilhada, a estratégia conjunta, parcerias e cooperação, por exemplo.

Os parâmetros devem ser relacionados com os benefícios ambientais pretendidos, como a quantidade de ligações de relacionamentos e trocas simbióticas, a porcentagem de uso de resíduos, os ganhos com resíduos, atividades de SI sendo realizadas e a integração do sistema, por exemplo. O foco está em mostrar como o desenvolvimento da SI, tanto no contexto físico quanto social melhora as contribuições ambientais do sistema industrial.

## Capítulo 4. COMPREENSÃO DO SISTEMA PARA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Este capítulo trata das etapas três e quatro do método desta pesquisa (Figura 34), que busca entender, modelar e simular o sistema. Coleta-se os dados pertinentes e necessários, através de contatos por e-mail, telefone ou visitação, para atender o objetivo e responder as questões de pesquisa.

Além do método de pesquisa, este capítulo atende alguns procedimentos do fluxograma geral de desenvolvimento da SI, vide Figura 32, identificada na literatura, como visto anteriormente esta possui a divisão dos procedimentos em quatro principais.

O primeiro ponto envolve a compreensão do problema, a qual é discutida no capítulo primeiro desta tese, onde entende-se que um sistema agroindustrial com o desenvolvimento da SI pode trazer benefícios ambientais aos envolvidos, com a diminuição de descartes ao ambiente e reaproveitamento eficiente dos resíduos, podendo gerar ganhos financeiros. A SI é uma forma de focar nos resíduos e em seus possíveis usos, trazendo seu valor, por exemplo, quando as cinzas que seriam descartadas no campo são utilizadas para outro fim, como a fabricação de blocos de concreto.

Como caso para aplicação do estudo foi escolhido a cidade de Dourados-MS, por ser uma cidade importante para o estado do Mato Grosso do Sul e por ter um contexto industrial presente com diversas empresas de grande porte.

Observou-se que neste caso a especificidade principal encontrada no sistema foi seu caráter agroindustrial, onde praticamente todas as empresas de grande porte pertencem a este setor. Um levantamento dessas empresas foi executado para compreensão de seus processos, obtendo as principais culturas e animais produzidos na cidade para posterior processamento na própria cidade.

Constatou-se que os possíveis *Stakeholders* seriam os diretores de cada unidade de negócio e o estado (com leis e regulações, tal como a PNRS), além da Universidade Federal da Grande Dourados com o papel de fornecer pesquisas para tornar o aproveitamento de resíduos cada vez mais eficientes, por exemplo, conforme o Quadro 11.

Quadro 11 - Agentes do sistema

Segmentos de atuação no sistema	Agentes encontrados no sistema
Produtores agrícolas	Produtores de arroz Produtores de milho Produtores de soja Produtores de Trigo Produtores de Cana-de-açúcar

Segmentos de atuação no sistema	Agentes encontrados no sistema
Indústrias com matéria-prima provinda dos produtores	Beneficiadora de arroz Moinho de trigo Usinas sucroalcooleiras Esmagadora de soja Fábrica de ração animal
Pecuaristas	Criadores de bovinos Produtores com granjas de frango Produtores de granjas suínas
Processadores de carne	Abatedouro Processador de carne suína Processador de carne de frango
Indústrias com matéria-prima de origem animal	Laticínios Farinheira
Empresas de apoio (agentes sociais)	Universidades Instituições técnicas Estado Mercado consumidor Financiadoras

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados levantados sobre os *stakeholders* no caso apresentado, parte-se para entender a estratégia das empresas, que envolve a transição entre o ponto primeiro ao segundo ponto do fluxograma central desta tese.

Os produtores rurais concentram na produção de soja na safra, e no milho no período da “safrinha”, além de criação de gado e plantação de cana para abastecer as usinas sucroalcooleiras da região, sendo a soja mais preferida do que a cana, como relatado pelo gerente de uma das usinas, o qual relata a falta de oferta de cana para moagem.

Na pecuária, tem-se principalmente a criação de suínos, bovinos e frangos, pois são carnes muito demandadas pelo consumo alimentar do brasileiro, e por haver uma processadora de carne de frango e uma de suínos na cidade, além de um pequeno abatedor bovino.

As agroindústrias possuem a estratégia focada em vendas e lucro, como toda empresa, deixando a questão sustentável em segundo plano. Como estas processam grandes volumes de produtos, os resíduos também são bem volumosos.

Neste caso, os *stakeholders* são agroindústrias que fabricam produtos alimentícios, como leite, queijos, óleo de soja, açúcar, carnes, farinha de trigo, entre outros. Estes produtos não precisam de pesadas pesquisas e inovação neles próprios, pois são consumíveis e perecíveis, porém seus resíduos e embalagens é que se tornam o foco para serem cada vez mais benéficos ao meio ambiente.

A partir da compreensão do problema, dos *stakeholders* e do sistema, parte-se para a segunda parte do fluxograma para desenvolver a SI, a qual foca na análise e síntese do sistema atual, levantando a geração dos resíduos de cada agente e potenciais sinergias.

#### 4.1. A coleta de dados

Nesta etapa foi realizado a identificação das empresas que compõe o sistema e possuem características do setor agroindustrial, bem como suas capacidades de produção, geração de resíduos e insumos utilizados.

Como dito anteriormente, o objeto de estudo desta pesquisa é a cidade de Dourados, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. A cidade consta com 220.000 habitantes e 4.000 km<sup>2</sup> de extensão territorial. Sendo a segunda maior cidade em número de habitantes do estado.

As empresas foram divididas em três grupos: as que são baseadas em agricultura, que são os casos dos produtores de arroz, cana-de-açúcar, milho, soja e trigo (culturas mais plantadas em Dourados); as que são baseadas na pecuária, como é o caso de criadores de gado, granjas de frangos e granjas de suínos; e por fim, as agroindústrias que transformam as matérias-primas obtidas pelos grupos anteriores em produtos finais variados para o mercado.

##### 4.1.1. Agricultura

A porcentagem de área plantada em Dourados corresponde a 55,81% do território total de 4.086 Km<sup>2</sup>, com cerca de 200.000 hectares. A produção agrícola da cidade se baseia principalmente em arroz, cana-de-açúcar, milho, soja e trigo. A safra principal é realizada com a soja e a “safrinha” pelo milho, e alguns produtores plantam ou arrendam a terra para plantar cana com o objetivo de abastecer as usinas sucroalcooleiras da região. Cada cultura será apresentada a seguir com mais detalhes.

Cabe a ressalva de que foi feito a consideração de que os resíduos são distribuídos conforme o período de colheita de acordo com a média para facilitar os cálculos e a simulação e por não encontrar dados mais concretos, porém esses valores podem variar no decorrer dos meses de safra.

##### 4.1.1.1. Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção de açúcar e etanol para usinas sucroalcooleiras. Segundo o IBGE (2018) no ano de 2017 foram cultivados 28.272 hectares de cana-de-açúcar e colhidos 2.000.035 toneladas desta planta na cidade de Dourados-MS. Os resíduos provenientes desta planta são a palhada e as pontas, que conforme Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável - ABIB (2011) e o Instituto de Pesquisa Aplicada - IPEA (2012) correspondem a uma média de 24% de palhada e pontas por tonelada de cana, podendo, de acordo com Carvalho (1992), chegar a 34%. Conforme CONAB

(2017) a cana-de-açúcar é colhida no estado de MS entre os meses de abril a dezembro. O Quadro 12 mostra os valores para Dourados no período de um ano.

Quadro 12 - Dados do cultivo da cana-de-açúcar

Item	Quantidade
Cana-de-açúcar	2.000.035 toneladas
Plantio da cana	28.272 hectares
Produção por hectare	70,7 ton/ha
Resíduos (Palhada) – Período de abril a dezembro (250 dias)	480.009 toneladas totais de palhada e pontas 1.921 ton/dia
Adotando-se 24% de palhada	17 ton/ha por safra

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.2. Arroz

O arroz é cultivado e existe uma empresa de beneficiamento na cidade, seu principal uso é o consumo alimentar da sociedade brasileira, sendo um item essencial na alimentação diária. Conforme IBGE (2018) no ano de 2017 foram cultivados 1.200 hectares desta planta, com a produção de 7.200 toneladas. Seu resíduo neste momento é a palhada que consiste em 1,3 tonelada para cada tonelada de arroz (IPEA, 2012). De acordo com o CONAB (2017) a colheita do arroz envolve os meses de janeiro até abril. O Quadro 13 sintetiza estes dados para o período de um ano.

Quadro 13 - Dados do cultivo do arroz

Item	Quantidade
Arroz	7.200 toneladas
Plantio do arroz	1.200 hectares
Produção por hectare	6 ton/ha
Resíduos (Palhada) – Período de janeiro a abril	9.360 toneladas totais 78 ton/dia 7,8 ton/ha

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.3. Milho

O milho é utilizado principalmente como matéria-prima para a produção de ração animal. Sua produção foi de 783.000 toneladas, com o uso de 145.000 hectares (IBGE, 2018). Seu principal resíduo é a palhada (planta e sabugo) que consiste em média de 1,4 tonelada de palhada por tonelada de grão de milho (IPEA, 2012; CARVALHO, 1992). Segundo CONAB (2017) a colheita do milho ocorre entre os meses de fevereiro a junho quando este é considerado safra. A partir de conversas com moradores de fazendas da cidade, é comum que o milho seja plantado como segunda safra (“milho safrinha”), após a safra da soja e neste caso sua colheita ocorre nos meses de junho a setembro no estado do MS. Ressalta-se que como a safra da soja corresponde a 166.000 hectares dos 200.000 disponíveis, este trabalho considerou o milho como de segunda safra. O Quadro 14 mostra estes dados para a cidade para o período de um ano.

Quadro 14 - Dados do cultivo do milho

Item	Quantidade
Milho	783.000 toneladas
Plantio do milho	145.000 hectares
Produção por hectare	5,4 ton/ha
Resíduos (Palhada e sabugo) – Período de junho a setembro	1.096.200 toneladas totais 9.135 ton/dia 7,6 ton/ha

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.4. Soja

A soja é matéria-prima para diversos produtos, em Dourados tem-se principalmente o óleo de soja e farelo de soja. Segundo IBGE (2018) sua produção em Dourados foi de 575.700 toneladas com o plantio em 166.000 hectares. O resíduo nesta etapa é a palhada que consiste em 1,5 tonelada para cada tonelada de grão de soja (ABIB, 2011; CARVALHO, 1992). De acordo com o CONAB (2017) a colheita da soja no MS ocorre no período de janeiro a maio. O Quadro 15 resume os dados.

Quadro 15 - Dados do cultivo da soja

Item	Quantidade
Soja	575.700 toneladas
Plantio da soja	166.000 hectares
Produção por hectare	3,5 ton/ha
Resíduos (Palhada) – Período de janeiro a maio	863.550 toneladas totais 5.757,2 ton/dia 5,2 ton/há por safra

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.1.5. Trigo

O trigo é utilizado principalmente na produção de farinha de trigo, em Dourados sua produção foi de 1.800 toneladas em plantio de 1.000 hectares (IBGE, 2018). Seu resíduo no cultivo é a palhada, sendo 1,4 tonelada para cada tonelada de semente de trigo (IPEA, 2012; ABIB, 2011). Segundo CONAB (2017) o trigo é colhido entre os meses de julho e setembro no estado do MS. Quadro 16 demonstra os dados.

Quadro 16 - Dados do cultivo do trigo

Item	Quantidade
Trigo	1.800 toneladas
Plantio do trigo	1.000 hectares
Produção por hectare	1,8 ton/ha
Resíduos (Palhada) – Período de julho a setembro	2.520 toneladas totais 28 ton/dia 2,52 ton/ha

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.2. Pecuária

Os pecuaristas são produtores rurais que criam suínos ou frangos para posterior abate nas agroindústrias de processamento de carne. Estes agentes são matéria-prima para os processadores e utilizam de ração animal como insumo para o desenvolvimento dos animais. São encontrados com maior incidência em dois tipos na cidade de Dourados, suínos e frangos.

##### 4.1.2.1. Granjas de suínos

Segundo o IBGE (2018) Dourados produziu 74.239 cabeças de suínos no ano de 2017. Segundo visita à uma granja de suínos e conforme o IPEA (2012) cada suíno gera em média 0,084 kg de dejetos por dia por quilo de suíno na granja (suíno possui de 20 até 100 kg), e a mortalidade ocorre em torno de 5% na fase inicial (peso em média de 3 kg). O consumo de ração está em torno de 2,2 kg por suíno por dia em média (FÁVERO, 2003), no período de 120 dias de criação.

A quantidade de resíduos e insumos são colocados no Quadro 17, considerando os números apresentados.

Quadro 17 - Dados da granja de suínos

Itens	Quantidade
Suínos	73.418 cabeças
Dejetos (peso médio de 60 Kg)	370 ton/dia
Peso de suínos mortos	11,56 ton/120 dias 0,096 ton/dia em média
Ração	161,5 ton/dia em média

Fonte: Elaboração própria.

##### 4.1.2.2. Granjas de aves

Dourados conta com a criação de 1.900.000 conforme censo agropecuário IBGE (2017) e 272.225 galinhas poedeiras com a produção de 3.441.000 dúzias de ovos no ano de 2017 (IBGE, 2018). A cidade possui uma avicultura de grande porte para produção de pintinhos, que informaram apenas gerar 1 tonelada de resíduos de ovos por dia cada, os dados de produção de pintinhos não foram revelados e não foram disponibilizados maiores contatos ou visita.

Segundo o IPEA (2012) as aves geram em média 0,085 kg/kg de peso vivo referendando a sociedade americana de engenheiros agrícolas, já conforme a EMBRAPA (2005) as aves nas granjas geram em média 2 toneladas de dejetos para cada 1.000 frangos num ciclo de 45 dias (5 a 8 lotes por ano), ou seja, numa relação de 2 kg por frango (relação escolhida para esta pesquisa por estar no contexto brasileiro). A cama da granja pode ser retirada após cada dois lotes (45 dias cada lote) ou até uma vez por ano, dependendo de inúmeras variáveis, como sua

constituição e custo (AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992). A mortalidade das aves será baseada na literatura em torno de 3% quando os frangos possuem uma média de 1 kg (ABREU; ABREU, 2000). Por fim, o consumo de ração gira em torno de 4,7 kg de ração por frango pelo período de 45 dias (FIGUEIREDO et al, 2007). O Quadro 18 resume os dados colocados de resíduos e insumos em 2017, onde considerou-se o peso médio dos frangos em 1,35 kg para cálculo conforme IPEA (2012).

Quadro 18 - Dados da granja de frangos

Itens	Quantidade
Frangos	1.900.000 cabeças 272.225 poedeiras 1.627.775 frangos de corte/45 dias
Ovos	3.441.000 dúzias de ovos
Resíduos de ovos	2 ton/dia
Cama de aviário (fezes, penas, ração, serragem)	85 ton/dia em média de cama (EMBRAPA, 2005)
Resíduos de frangos mortos	49 ton/45 dias
Ração	7.650,5 ton/45 dias 170 ton médias diárias

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.2.3. Criação de bovinos

Não foi possível obter dados reais com visitas sobre esta criação. O IBGE (2018) apresenta 148.185 cabeças de bovinos, onde 3.125 vacas são ordenhadas para produção de leite, no total de 5.000.000 l de leite por ano, no município de Dourados. Segundo o MAPA (2018) são utilizados 115 litros de água por bovino por dia, são gerados 5,6 kg de dejetos (em média) por dia e, para Baruselli (2017) são ingeridos 4,5 kg de ração em média (para gado semi confinado) por bovino por dia.

#### 4.1.3. Abatedouros e processadores de carne

##### 4.1.3.1. Abatedouro bovino

A cidade possui apenas um abatedouro bovino com capacidade para 120 bovinos por dia com o peso médio de 400 kg. Unep, Depa e Cowi (2000) e Pacheco (2006) apresentam a geração de 38% de despojo e 3% de sangue por bovino. A empresa não possibilitou visita e não respondeu as informações de seus resíduos gerados.

##### 4.1.3.2. Processador de carne de frango

Um dos mais importantes agentes do sistema é o frigorífico de aves de Dourados, contando com a capacidade de abater 145.000 aves por dia. Seus resíduos foram obtidos por visita, onde houve observação e entrevistas abertas aos funcionários disponíveis. Os dados

foram confrontados com o trabalho de Padilha et al (2005) e IPEA (2012), sendo penas 0,112 kg por unidade abatida, vísceras 0,16 kg/u.a. e sangue 0,085 l/u.a., obtendo uma diferença no número de vísceras, sendo a realidade de Dourados cerca de quatro vezes maior. Estes são apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 - Dados processadora de carne de frango

<b>Resíduos</b>	<b>Quantidade</b>
Penas	20 ton/dia
Vísceras	100 ton/dia
Sangue	12.325 l/dia
Papelão	15 ton/mês
Sucata de metal	3 ton/mês
Plástico	6 ton/mês
Lodo da estação de tratamento de esgoto	80 ton/mês
Cinzas	8 ton/mês
Água (utilizada)	100.000 m3/mês

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.3.3. Processador de carne suína

O frigorífico de suínos abate cerca de 4.200 cabeças por dia, produzindo cerca de 12 mil toneladas de produtos finais por mês. Seus dados foram estimados conforme o IPEA (2012) e Pacheco e Yamanaka (2006) em seu guia técnico para abate da CETESB, pois a empresa não respondeu e não ofereceu a possibilidade de visita. Segue o Quadro 20 com os dados calculados segunda a literatura.

Quadro 20 - Dados da processadora de carne suína

<b>Resíduos</b>	<b>Quantidade</b>
Pêlo	4,2 ton/dia
Resíduos de abate (ossos, gordura, cabeça, partes condenadas)	75,6 ton/dia
Sangue	11.340 l/dia
Conteúdo estomacal e intestinal	11,3 ton/dia
Água utilizada	100.000 m3/dia
Plástico	7 ton/mês
Papel/papelão	18 ton/mês
Sucata de metal	2,5 ton/mês
Cinzas	8 ton/mês

Fonte: Elaboração própria.

A quantidade de plástico, sucata de metal, papel/papelão e cinzas foram baseados na unidade processadora de frangos, por possuírem tamanhos e relevância próximos e não ser possível encontrar fórmulas para calcular a geração destes resíduos que são próprios de cada unidade fabril.

#### 4.1.4. Processadores de alimentos agrícolas

##### 4.1.4.1. Usina sucroalcooleira

Duas usinas sucroalcooleiras estão presentes no território de Dourados, com a moagem de 5.000 e 7.500 ton de cana-de-açúcar por dia. A primeira usina processa um total de 1,5 milhões de toneladas de cana por safra, e a segunda 1,1 milhões de toneladas. Observa-se 0,6 milhões de toneladas de cana veem de outras cidades para complementar a produção municipal de 2 milhões de toneladas.

Para facilitar a modelagem do sistema, as usinas são consideradas de forma integrada. Os resíduos foram baseados em Santos e Magrini (2018), UNICA (2011), ABIB (2011) e Alcarde (2009), além de visita em uma das usinas com conversas informais para coleta de dados com os funcionários disponíveis.

A geração de bagaço ocorre em torno de 250 kg por tonelada de cana-de-açúcar, a vinhaça em 12 a 18 litros por litro de álcool, a torta de filtro em 20 a 40 kg por tonelada de cana, a levedura em 2,5 kg para cada 100 litros de etanol, as cinzas em 25 kg por tonelada de bagaço (FREDERICCI, 2012), e por fim, a transformação de uma tonelada de bagaço em 300 kwh de energia e a palha em 500 kwh em média. Os dados estão representados no Quadro 21.

Quadro 21 - Dados da usina sucroalcooleira

<b>Resíduos</b>	<b>Quantidade</b>
Bagaço	650.000 ton/safra 2.600 ton/dia
Vinhaça	2.873.000.000 l/safra 11.492.000 l/dia
Torta	101.700 ton/safra 406,8 ton/dia
Cinzas	16.250 ton/safra 65 ton/dia
Levedura	5.525 ton/safra 22,1 ton/dia
Papel/papelão	30 kg/dia
Sucata de metal	22 kg/dia
Plástico	9 kg/dia

Fonte: Elaboração própria.

A utilização de resíduos da cana-de-açúcar traz uma série de benefícios já comprovados, o que reforça a utilização alta de resíduos por esta indústria. O papel/papelão, sucata de metal e plástico foram obtidos por entrevista aberta.

#### 4.1.4.2. Moinho de trigo

Este agente possui a capacidade de moer 100 toneladas de trigo por dia. O único resíduo passado por contato telefônico foi a casca, na quantidade de 350 toneladas por mês, com média de 14,6 toneladas por dia trabalhado (22 dias por mês). Os demais foram passados por e-mail conforme quantidade média estipulada por um funcionário da produção, conforme Quadro 22.

Quadro 22 - Dados do moinho de trigo

Item	Quantidade
Trigo	2.200 ton/mês 100 ton/dia
Casca de trigo	321,2 ton/mês 14,6 ton/dia
Papel/papelão	4 kg/dia
Sucata de metal	1 kg/dia
Plástico	10 kg/dia
Cinzas	500 kg/dia

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.4.3. Esmagadora de soja

Dourados possui uma indústria esmagadora de soja, a qual recebe 3.500 e processa 2.200 toneladas de soja por dia. A empresa trabalha com a proporção de soja esmagada tornando-se 80% farelo e 20% óleo. A casca é obtida em 5 % do peso do grão conforme Blasi et al (2000).

Seus resíduos e insumos estão descritos no Quadro 23, os quais foram obtidos por entrevista com funcionários da produção, sem a observação do processo e em comparação com o artigo de Pukasiewicz, Oliveira e Pilatti (2004).

Quadro 23 - Dados da esmagadora de soja

Item	Quantidade
Soja processada	2.200 ton/dia
Soja total recebida	3.500 ton/dia
Cinzas	2 ton/dia
Casca de soja	110 ton/dia totais 26 ton/dia venda
Cavaco	700 ton/dia
Lenha	80 m <sup>3</sup> /dia
Farelo de soja	1.760 ton/dia
Óleo de soja	440.000 l/dia
Papel/papelão	18 kg/dia
Plástico	14 kg/dia
Sucata de metal	5 kg/dia

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.4.4. Ração animal

A cidade possui quatro empresas relevantes produtoras de ração animal. Duas são independentes e possuem a capacidade de 180 e 200 toneladas por dia, uma pertence à processadora de aves e a outra à processadora de suínos, com capacidade estimada em 350 toneladas por dia cada. Um fato relevante é o uso de alguns insumos mencionados neste trabalho e a possibilidade de utilizar a farinha de origem animal em 20% da produção. Dados relacionados no Quadro 24.

Quadro 24 - Dados das produtoras de ração animal

Itens	Unidade 1
Ração	800 ton/dia
Milho (70%)	560 ton/dia

Farelo de soja (23%)	184 ton/dia
FOA (20%) (caso demande)	160 ton/dia
Papel/papelão	55 kg/dia
Sucata	28 kg/dia
Plástico	200 kg/dia

Fonte: Elaboração própria.

Considerou-se as proporções de milho e soja médias conforme Fávero (2003). Colocou-se a possibilidade de uso de Farinha de origem animal (FOA) em substituição ao farelo de soja, como já ocorre, porém não foi revelado a quantidade utilizada. A quantidade de papel/papelão, plástico e sucata de metal, foram estipulados conforme entrevista com um dos sócios proprietários da unidade 2.

As proporções de milho, soja, farelo de soja, aditivos e casca de soja, por exemplo, são muito variáveis dependendo do tipo de confinamento do animal, da espécie, do clima, da produtividade requerida, entre outros fatores, o que pode ser consultado nas pesquisas de alimentação e nutrição animal da Embrapa.

#### 4.1.4.5. Laticínios

Existem duas empresas caracterizadas como laticínios em Dourados, que produzem derivados do leite também, uma com capacidade de produzir 20.000 litros de leite por dia, e a outra com 50.000 litros.

Os dados obtidos através de visita com observação e entrevista aberta com os funcionários estão dispostos no Quadro 25. Os valores de soro dependem muito da variedade dos produtos fabricados por dia, como queijos (mussarela, ricota), leite integral, iogurte e bebida láctea. A pesquisa de Silva (2011) foi utilizada como base para comparação.

Quadro 25 - Dados dos laticínios

<b>Itens</b>	<b>Quantidade</b>
Leite	70.000 l/dia
Soro de leite	48.000 l/dia
Cinzas	0,8 ton/dia
Água	25.000 l/dia
Plástico	20 kg/dia
Embalagem multifoliar	28 kg/dia
Papel/papelão	12 kg/dia
Resíduo tratamento de água	550 kg/dia

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.1.4.6. Beneficiadora de arroz

Existe uma beneficiadora de arroz com capacidade de beneficiar 81 toneladas de arroz por dia. Seus dados foram obtidos através de uma visita e entrevista aberta com funcionários disponíveis no momento da observação, apresentados no Quadro 26.

Quadro 26 - Dados da beneficiadora de arroz

<b>Itens</b>	<b>Quantidade</b>
Arroz	81 ton/dia
Casca de arroz	16,2 ton/dia
Cinzas	1 ton/dia
Papel/papelão	2 ton/mês
Sucata de metal	0,8 ton/mês
Plástico	2 ton/mês

Fonte: Elaboração própria.

Carvalho (1992) coloca a porcentagem de casca de arroz em 20%, porém a empresa analisada está conseguindo padrões abaixo da literatura. O sistema conta ainda com uma empresa que realiza a destinação final de resíduos sólidos e lixo na forma de aterro. E alguns resíduos são coletados por empresa de reciclagem.

A destinação atual dos resíduos encontrados nas empresas mencionadas está apresentada no Quadro 27.

Quadro 27 - Relação de resíduos encontrados no sistema

<b>Resíduos</b>	<b>Destinação atual</b>
Palhada	Adubo no campo
Dejetos (bovinos, aves e suínos)	Adubo no campo
Animais mortos	Compostagem
Vísceras, sangue e penas (aves)	FOA
Cinzas	Aterro e campo
Ovos quebrados	Aterro
Pêlos (suíno)	Aterro
Ossos, gorduras, cabeça, partes condenadas (suíno)	FOA
Conteúdo estomacal e intestinal (suíno)	Não informado
Bagaço	Queima e geração de energia
Vinhaça	Adubo no campo
Torta (cana)	Adubo no campo
Casca de trigo	Adubo no campo
Casca de arroz	Adubo no campo
Casca de soja	Venda
Soro de leite	Doação à pequenos produtores
Água residual	Tratamento
Sucata de metal	Reciclagem
Papel e papelão	Reciclagem
Plástico	Reciclagem
Lodo ETE e ETA	Aterro

Fonte: Elaboração própria.

Alguns pontos devem ser explicados sobre os resíduos encontrados no agronegócio de Dourados:

- a) Os resíduos de palhada de milho, trigo, cana, arroz e soja são sazonais e, portanto, são gerados apenas em alguns meses do ano. De Janeiro à Maio tem-se os resíduos da soja e arroz, de Abril à Dezembro os da cana, e em Junho à Setembro soma-se os do trigo e milho;

- b) As cinzas não são reutilizadas, sua destinação atual em todos os membros é o descarte em aterros ou no campo, sem pretensão de adubagem, apenas descarte;
- c) Para produção da FOA, as produtoras de ração animal de aves e suína processam-na em suas unidades, porém as outras duas que fazem todos os tipos de ração animal precisam de uma indústria que processe a FOA. Existe uma empresa terceirizada que realiza este procedimento, porém ela não retornou os contatos;
- d) As empresas não contabilizam a água utilizada e tratada, necessitando de estimativas;
- e) A casca de soja é vendida junto com o farelo de soja e para alimentação animal;
- f) A casca de arroz é simplesmente jogada no campo da propriedade do presidente da empresa, sem estudos de potencial para adubo;
- g) A casca de trigo é doada aos produtores para compostagem;
- h) A vinhaça retorna ao campo, porém não respeita a quantidade máxima permitida pelo solo conforme norma técnica P4.231 CETESB (2005) pelo fato do transporte até os hectares mais distantes ser complexo;
- i) Os pêlos e ovos quebrados são descartados para aterro, sem estudo de possíveis aplicações;
- j) Todas as empresas possuem descarte de lixo (restos de comida por exemplo), como a própria cidade de Dourados que gera aproximadamente 5.500 toneladas de lixo por mês, porém não informaram a quantidade gerada;
- k) O soro de leite é doado para pequenos produtores, sem estudos de aplicações mais rentáveis;
- l) Os dejetos do frango são depositados em uma “cama” que é retirada em média a cada 90 dias (2 lotes de 45 dias);
- m) As informações obtidas sobre o tratamento de água, é de que este ocorre em cada empresa de forma satisfatória e conforme requerido pelo estado.

As chamadas por este trabalho como empresas de apoio, as quais representam os agentes sociais do sistema, sendo universidades, redes financeiras, mercado consumidor e estado, não estão exercendo influências no caso analisado até o momento da coleta de dados. As instituições de pesquisa realizam trabalhos aleatórios que envolvem resíduos, sem qualquer vínculo ou parceria com os agentes do sistema. O estado apresenta um conjunto de leis e normas ambientais, porém não consegue monitorar e fiscalizar o cumprimento adequado destas, e não realiza incentivos para melhorias ambientais. As redes financeiras são focadas em custo e lucro,

e o mercado consumidor não exige que as empresas realizem contribuições e melhorias ambientais.

## 4.2. Modelagem

Este capítulo corresponde à quarta etapa do método apresentado na Figura 39, que visa equacionar, compreender e analisar as variáveis para simular e apresentar uma solução ao problema.

Em relação ao fluxograma para desenvolvimento da SI, este capítulo ainda se encontra no grupo dois dos procedimentos, precisamente na etapa quatro, realizando a análise do sistema, com compreensão dos relacionamentos e de seus elementos, das suas variáveis, da geração de resíduos, e das possíveis sinergias para o sistema a ser projetado com SI.

As equações foram definidas conforme dados empíricos obtidos através das entrevistas abertas, de observações e das respostas aos contatos eletrônicos. Para complementar os dados na modelagem do objeto de estudo foram utilizados dados da Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (EMBRAPA), do Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE), do Instituto de pesquisa econômica aplicada (IPEA), da Associação brasileira das indústrias de biomassa e energia renovável (ABIB), entre outras pesquisas similares ao contexto de estudo.

O primeiro aspecto do sistema a ser modelado e equacionado são os agentes pertencentes à agricultura, que conforme identificado em Dourados são a produção de arroz, trigo, cana-de-açúcar, soja e milho.

Para cada cultura tem-se um número de hectares que foram utilizados para sua plantação na cidade de Dourados e seus respectivos estabelecimentos. Desta forma é possível obter a relação de número médio de hectares por estabelecimento e a produção média por hectare. Para identificação da quantidade de palhada a ser gerada, necessita-se somar a produção total dos hectares por cultura e multiplicar pela relação de geração de palhada. As equações e a descrição das variáveis estão descritas no Quadro 28.

Quadro 28 - Equações para os agentes agrícolas

Cultura	Equações	Variáveis	Tempo
Arroz	$Q_{pa} = P_a * P_{gpa}$ (1)	$Q_{pa}$ : Quantidade de palhada de arroz; $P_a$ : Produção de arroz; $P_{gpa}$ : Proporção de geração de palhada de arroz;	Jan-Abr
Cana-de-açúcar	$Q_{pc} = P_c * P_{gpc}$ (2)	$Q_{pc}$ : quantidade de palhada de cana; $P_c$ : Produção de cana; $P_{gpc}$ : proporção de geração de palhada de cana;	Abr-Dez
Milho	$Q_{pm} = P_m * P_{gpm}$ (3)	$Q_{pm}$ : quantidade de palhada do milho; $P_m$ : produção de milho;	Jun-Set

Cultura	Equações	Variáveis	Tempo
		$P_{gpm}$ : proporção de geração de palhada do milho;	
Soja	$Qps = Ps * Pgps$ (4)	$Q_{ps}$ : quantidade de palhada da soja; $P_s$ : produção de soja; $P_{gps}$ : proporção de geração de palhada da soja;	Jan-Mai
Trigo	$Qpt = Pt * Pgpt$ (5)	$Q_{pt}$ : quantidade de palhada do trigo; $P_{15}$ : produção de trigo por hectare; $P_{gpt}$ : proporção de geração de palhada do trigo;	Jul-Set

Fonte: Elaboração própria.

Um ponto importante para a análise da agricultura é a quantidade de palhada necessária para cada hectare que deve ser depositada no campo, sendo este o principal resíduo desta etapa. As equações e definição das variáveis estão no Quadro 29.

Quadro 29 - Cálculo da quantidade de palhada

Cultura	Quantidade de palhada necessária
Arroz	$Qpan = Nha * Tpanha$ (6) $Q_{pan}$ : quantidade de palhada de arroz necessária; $T_{panha}$ : quantidade necessária de palhada de arroz por hectare $Nha$ : número de hectares plantando arroz
Cana-de-açúcar	$Qpcn = Nhc * Tpcnha$ (7) $Q_{pcn}$ : quantidade de palhada de cana necessária; $T_{pcnha}$ : quantidade necessária de palhada de cana por hectare $Nhc$ : número de hectares plantando cana
Soja	$Qpsn = Nhs * Tpsnha$ (8) $Q_{psn}$ : quantidade de palhada de soja necessária; $T_{psnha}$ : quantidade necessária de palhada de soja por hectare $Nhs$ : número de hectares plantando soja
Milho	$Qpmn = Nhm * Tpmnha$ (9) $Q_{pmn}$ : quantidade de palhada de milho necessária; $T_{pmnha}$ : quantidade necessária de palhada de milho por hectare $Nhm$ : número de hectares plantando milho
Trigo	$Qptn = Nht * Tptnha$ (10) $Q_{ptn}$ : quantidade de palhada de trigo necessária; $T_{ptnha}$ : quantidade necessária de palhada de trigo por hectare $Nht$ : número de hectares plantando trigo

Fonte: Elaboração própria.

A partir da quantidade de palhada necessária e quantidade total gerada, é possível calcular a sobra deste resíduo para utilização em outras demandas mais interessantes para o sistema.

$$Sobra_{res_{pal}} = (Qw32 - Qpan) + (Qw33 - Qpcn) + (Qw28 - Qptn) + (Qw29 - Qpsn) + (Qw30 - Qpmn) \quad (11)$$

A quantidade utilizada de plástico não foi informada, porém se considerou o uso de defensivos agrícolas e adubo como geradores deste resíduo. Assumiu-se um número randômico gerado pelo *software* para representar as toneladas de plástico por mês para os hectares da cidade de Dourados como um todo, apenas para análise e aplicação nesta tese.

Para a pecuária foram analisadas três empresas que pertencem ao sistema, uma produtora de suínos, um abatedouro pequeno e uma produtora de aves. Para cada uma delas

tem-se os principais resíduos encontrados e com sua geração equacionada além da quantidade média do insumo de ração animal necessário, como no Quadro 30.

Quadro 30 - Equações para a pecuária

<b>Tipo</b>	<b>Equações</b>	<b>Descrição</b>
Suínos	$Qdjs = (Nse * Nsu) * Pms * Tgds \quad (12)$ $Qsm = (Nse * Nsu) * Tms * Pmsm \quad (13)$ $Qras = Nse * Nsu * Cmr_s \quad (14)$	<p><math>Q_{djs}</math>: quantidade de dejetos suínos gerados;  <math>N_{se}</math>: número de suínos por estabelecimento;  <math>N_{su}</math>: número médio de estabelecimentos criadores de suínos;  <math>P_{ms}</math>: Peso médio por suíno (considerando os 130 dias de vida do lote);  <math>T_{gds}</math>: Taxa de geração de dejetos por quilo de suíno;  <math>Q_{sm}</math>: quantidade de suínos mortos;  <math>T_{ms}</math>: Taxa de mortalidade de suínos;  <math>P_{msm}</math>: Peso médio dos suínos mortos;  <math>Q_{ras}</math>: Quantidade de ração necessária para alimentar os suínos;  <math>Cmr_s</math>: consumo médio de ração por suíno;</p>
Frangos	$Qca = Nef * Nfr * Tgdf \quad (15)$ $Qro = Qmoq * Neif \quad (16)$ $Qfm = Nfe * Nfr * Tmfr * Pmfrm \quad (17)$ $Qraf = Nef * Nfr * Cmr_f \quad (18)$	<p><math>Q_{ca}</math>: quantidade de cama de aviário;  <math>N_{ef}</math>: número de frangos por estabelecimento;  <math>N_{fr}</math>: número médio de estabelecimentos criadores de frango;  <math>T_{gdf}</math>: Taxa de geração de dejetos por quilo de frango;  <math>Q_{ro}</math>: quantidade de resíduos de ovos quebrados;  <math>Q_{moq}</math>: quantidade média de ovos quebrados;  <math>N_{ef}</math>: número de estabelecimentos incubadores de frangos;  <math>Q_{fm}</math>: quantidade de frangos mortos;  <math>T_{mfr}</math>: taxa de mortalidade de frangos;  <math>P_{mfrm}</math>: Peso médio dos frangos mortos;  <math>Q_{raf}</math>: quantidade de ração necessária para alimentar os frangos;  <math>Cmr_f</math>: consumo médio de ração por frango;</p>
Bovino	$Qdjb = Qmdb * Nb \quad (19)$ $Qrab = Nb * Cmr_b \quad (20)$	<p><math>Q_{djb}</math>: quantidade de dejetos bovino  <math>Q_{mdb}</math>: quantidade média de dejetos por bovino;  <math>N_b</math>: número de bovinos;  <math>Q_{rab}</math>: quantidade de ração necessária para alimentar os bovinos;  <math>Cmr_b</math>: consumo médio de ração por bovino;</p>

Fonte: Elaboração própria.

Uma informação relevante é que a geração de cama de frango não pode ser coletada diariamente em cada granja, mas sim a cada finalização de lote, o que acontece a cada 45 dias.

A quantidade de resíduo total provindo dos pecuaristas é dada pela equação:

$$Res_{pecuaria} = (Qdjb + Qro + Qca + Qfm + Qsm + Qdjs) \quad (21)$$

A quantidade total de ração demandada para alimentar bovinos, suínos e frangos é dada por:

$$Quant_{total\_raca} = (Qrab + Qraf + Qras) \quad (22)$$

Para cada indústria abatedora e processadora de animais presente no sistema foram identificados seus principais resíduos e equacionados conforme sua produção, de acordo com o Quadro 31.

Quadro 31 - Equações para abatedouros e/ou processadores de carne

Tipo	Equações	Definições
Frango	$Q_{pf} = N_{fa} * P_{gpf}$ (23) $Q_{vf} = N_{fa} * P_{gvf}$ (24) $Q_{sf} = N_{fa} * P_{gsf}$ (25)	$Q_{pf}$ : quantidade de penas de frango; $N_{fa}$ : número de frangos abatidos; $P_{gpf}$ : porcentagem média de geração de pena por frango; $Q_{vf}$ : quantidade de vísceras de frango; $P_{gvf}$ : porcentagem de geração de vísceras por frango; $Q_{sf}$ : quantidade de sangue de frango; $P_{gsf}$ : porcentagem de geração de sangue por frango;
Suíno	$Q_{djs} = N_{sa} * P_{ges}$ (26) $Q_{ps} = N_{sa} * P_{gps}$ (27) $Q_{reas} = N_{sa} * P_{gds}$ (28) $Q_{ss} = N_{sa} * P_{gss}$ (29) $Q_{cei} = N_{sa} * P_{gcs}$ (30)	$Q_{djs}$ : quantidade de dejetos suínos; $P_{ges}$ : porcentagem de geração de esterco por suíno; $Q_{ps}$ : quantidade de pelos suínos; $P_{gps}$ : porcentagem de geração de pelos por suíno; $Q_{reas}$ : quantidade de resíduos de abate de suíno; $P_{gds}$ : porcentagem de geração de resíduo de abate por suíno; $Q_{ss}$ : quantidade de sangue suíno; $P_{gss}$ : porcentagem de geração de sangue suíno; $Q_{cei}$ : quantidade de conteúdo estomacal e intestinal suíno; $P_{gcs}$ : porcentagem de geração de conteúdo estomacal e intestinal suíno;
Bovino	$Q_{deb} = N_{ba} * P_{gdb}$ (31) $Q_{sb} = N_{ba} * P_{gsb}$ (32)	$Q_{deb}$ : quantidade de despojo bovino gerada; $N_{ba}$ : número de bovinos abatidos; $P_{gdb}$ : Porcentagem de geração de despojo média por bovino; $Q_{sb}$ : quantidade de sangue bovino gerada; $P_{gsb}$ : porcentagem média de geração de sangue por bovino;

Fonte: Elaboração própria.

Os demais resíduos, sendo eles: cinzas, plástico, papel/papelão, sucata de metal e lodo da estação de tratamento de esgoto e água, devem ser fornecidos pela empresa analisada, pois dependem de vários fatores, como tecnologia disponível, qualidade da matéria-prima, tamanho do setor administrativo e falhas no processo.

A quantidade de resíduos que podem ser fornecidas para produção de farinha de origem animal e de sangues são dadas pelas equações:

$$Res\_Prod\_FOA = Q_{deb} + Q_{pf} + Q_{vf} + Q_{reas} \quad (33)$$

$$Res\_sangue = Q_{sf} + Q_{ss} + Q_{sb} \quad (34)$$

As demais agroindústrias que operam na cidade foram agrupadas no Quadro 32 com seus resíduos, pois utilizam como matéria-prima principal recursos vindos da agricultura, sendo o trigo, milho, cana, soja e arroz, e o leite provindo de vacas ordenhadas.

Quadro 32 - Equações para demais agroindústrias

Tipo	Equações	Definições
Usina sucroalcooleira	$Q_{bc} = Q_{cm} * P_{gbc}$ (35) $Q_{vc} = Q_{cm} * P_{gvc}$ (36) $Q_{tfc} = Q_{cm} * P_{gtc}$ (37) $Q_{cbc} = Q_{bcq} * P_{gci}$ (38) $Q_{lev} = Q_{et} * P_{lev}$ (39) $Q_{gener} = Q_{bcq} * Gener$ (40)	$Q_{bc}$ : quantidade de bagaço de cana; $P_{gbc}$ : porcentagem de geração de bagaço de cana; $Q_{vc}$ : quantidade de vinhaça de cana; $P_{gvc}$ : porcentagem de geração de vinhaça de cana; $Q_{tfc}$ : quantidade de geração de torta de filtro de cana; $P_{gtc}$ : porcentagem de geração de torta de cana; $Q_{cbc}$ : quantidade de cinzas proveniente da queima de bagaço de cana; $Q_{bcq}$ : Quantidade de bagaço de cana queimado; $P_{gci}$ : porcentagem de geração de cinzas pela queima de bagaço de cana;

Tipo	Equações	Definições
		$Q_{lev}$ : quantidade de levedura $Q_{et}$ : quantidade de etanol produzido $P_{lev}$ : Proporção de levedura por litro de etanol $Q_{ener}$ : Quantidade de energia gerada $G_{ener}$ : Taxa de geração de energia
Moinho de trigo	$Q_{ct} = Q_{tp} * P_{gct}$ (41)	$Q_{ct}$ : quantidade de casca de trigo; $Q_{tp}$ : quantidade de trigo processado; $P_{gct}$ : porcentagem de geração de casca de trigo;
Esmagadora de soja	$Q_{cs} = Q_{sp} * P_{gcs}$ (42)	$Q_{cs}$ : quantidade de casca de soja; $Q_{sp}$ : quantidade de soja processada; $P_{gcs}$ : porcentagem de geração de casca de soja;
Beneficiadora de arroz	$Q_{ca} = Q_{ab} * P_{gca}$ (43)	$Q_{ca}$ : quantidade de casca de arroz; $Q_{ab}$ : quantidade de arroz beneficiado; $P_{gca}$ : porcentagem de casca de arroz;
Laticínio	$Q_{sl} = Q_{lp} * P_{gsl}$ (44)	$Q_{sl}$ : quantidade de soro de leite; $Q_{lp}$ : quantidade de leite processado; $P_{gsl}$ : porcentagem de geração de soro;

Fonte: Elaboração própria.

Os demais resíduos, cinzas, plástico, papel/papelão, sucata de metal, lodo da estação de tratamento de água e esgoto devem ser verificados com a própria empresa, não podendo ser simplesmente calculados, pois dependem de vários fatores e eventos. Com a obtenção destes dados para cada agente, soma-se a quantidade total de descartados e de reutilizados.

O modelo apresenta um conjunto de medidas, baseados principalmente em Mantese e Amaral (2016, 2017, 2018), Romero e Ruiz (2014), Batten (2009), Cutaia et al. (2015) e Demartini, Tonelli e Bertani (2018) para verificar e medir o comportamento dos agentes do sistema, com foco no desenvolvimento da SI, para obtenção critérios de comparação dos cenários obtidos por meio da SBA, conforme Quadro 33.

Quadro 33 - Medidas dos cenários

Medidas	Equação
Eco-conectância: relação entre as interações de trocas simbióticas e de relacionamento com o número de interações possíveis. Quanto mais próximo de um for, será melhor.	$Ec = \frac{(Q_{lr} + Q_{lts})}{(N_{ag}(N_{ag} - 1))}$ (45) Ec: Eco-conectância Q <sub>lr</sub> : quantidade de ligações de relacionamentos Q <sub>lts</sub> : quantidade de ligações de trocas simbióticas N <sub>ag</sub> : número de agentes do sistema
Indicador de atividades de SI: indica como o sistema está em relação ao desenvolvimento das atividades da SI. O indicador é melhor quando ele estiver mais próximo de 100.	$I_{atsi} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ag}} Atvsi}{(N_{ag} * N_{asi})} * 100$ (46) I <sub>atsi</sub> : Indicador de atividades de SI Atvsi: Pontos de atividades importantes de SI de cada agente; N <sub>asi</sub> : Número máximo de pontos de atividades de SI de cada agente;
Projetos ambientais de sucesso ou fracasso, dependendo da propensão ambiental. Quanto maior a proporção de relacionamentos, maior será a possibilidade de realização de projetos.	$P_{amb} = \frac{Q_{lr}}{\left(\frac{N_{ag}(N_{ag} - 1)}{2}\right)}$ (47) P <sub>amb</sub> : projetos ambientais N <sub>ag</sub> : número de agentes do sistema

Medidas	Equação
Taxa de projetos de sucesso: proporção de projetos de sucesso em relação a todos os projetos realizados. O melhor resultado ocorre quando próximo de 1.	$Tps = \frac{Pambst}{Pambst + Pambft} \quad (48)$ <p>Tps: taxa de projetos de sucesso Pambst: Total de projetos ambientais de sucesso Pambft: Total de projetos ambientais fracassados</p>
Inovação ambiental: possibilidade de inovação. Quanto maior o resultado, maior a chance de ocorrer inovação ambiental.	$Inamb = Tps + Ec \quad (49)$ <p>Inamb: Inovação ambiental</p>
Integração ambiental: número total de ligações com interação ou parcerias ambientais. Quanto maior o número, melhor será a medida.	$Intamb = Qlr + Qlts + Qls \quad (50)$ <p>Intamb: Integração ambiental Qls: Quantidade de ligações de suprimentos</p>
Resíduos úteis externamente: quantidade de resíduos utilizada externamente ao sistema.	$Rue = Ru * Pue \quad (51)$ <p>Rue: Resíduos úteis externamente Ru: resíduos úteis Pue: porcentagem de resíduos utilizados externamente</p>
Resíduos restantes: quantidade de resíduos disponíveis para uso, porém que ainda não foram reutilizados. Quanto menor o número for, melhor será a medida	$Rres = Ru - Rue - (Qagc * Capne) \quad (52)$ <p>Rres: Resíduos restantes Qagc: Quantidade de agentes criados para trocas simbióticas Capne: Capacidade dos novos agentes</p>
Ociosidade: capacidade das novas empresas não utilizada. Ocorre somente quando Rres for menor que 0. Quanto mais próximo de 0 for a medida, melhor será para o sistema, em questões econômicas.	<p>Quando <math>Rres &lt; 0</math></p> $Oci = Rres * (-1) \quad (53)$ <p>Oci: Ociosidade das novas empresas</p>
Trocas SI: proporção de resíduos reutilizados sobre a quantidade total de resíduos.	<p>Quando <math>Rres &gt; 0</math></p> $Tsi = \frac{Ru + Rabf - Rres}{Ru + Rabf + Rdes} \quad (54)$ <p>Quando <math>Rres &lt; 0</math></p> $Tsi = \frac{Ru + Rabf}{Ru + Rabf + Rdes} \quad (55)$ <p>Tsi: trocas SI Rabf: resíduos de abate para produção de farinha Rdes: resíduos descartados</p>
Relação lucro/Custo das trocas SI: relação dos ganhos com trocas simbióticas pelo custo com descarte. Resultado será bom se for maior que 1 e ruim se menor que 1.	<p>Quando <math>Rres &gt; 0</math></p> $Rlc = \frac{(Ru + Rabf - Rres) * Gtr}{(Rdes + Rres) * Ctd} \quad (56)$ <p>Quando <math>Rres &lt; 0</math></p> $Rlc = \frac{(Ru + Rabf) * Gtr}{Rdes * Ctd} \quad (57)$ <p>Rlc: Relação lucro/custo das trocas de SI Gtr: ganho por tonelada reutilizada Ctd: custo por tonelada descartada</p>
Propensão ambiental: nível ao qual o sistema desenvolve e deseja a SI.	$Propamb = \frac{(Ci + P + D + U + C + A + S + F)}{Nmp * Nele} \quad (58)$ <p>Propamb: propensão ambiental Ci: capacidade institucional P: políticas públicas ambientais D: Influência da demanda U: Apoio de universidades C: Custos A: Atividades de Si realizadas S: Influência da sociedade F: Apoio de redes financeiras Nmp: nível máximo de cada elemento</p>

Medidas	Equação
	Nele: Número de elementos da propensão ambiental

Fonte: Elaboração própria.

As medidas foram criadas principalmente para possibilitar a análise da SI, o comportamento dos agentes e a comparação dos cenários. Os projetos ambientais de sucesso mostram a relação das ligações de relacionamentos com o total de ligações e soma-se nisso o potencial das reuniões para aumento dos projetos ambientais entre os agentes. A taxa de projetos de sucesso verifica que quanto maior a propensão ambiental do sistema maior a possibilidade de os projetos darem certo, o inverso causa a chance maior de fracasso.

A inovação ambiental simplesmente leva em consideração a taxa de projetos de sucesso com a eco-conectância, mostrando que ambos favorecem diretamente o surgimento desta. A integração ambiental apresenta a somatória de todas as ligações, pois são estas que integram todos os agentes do sistema.

Os resíduos úteis externamente representam as toneladas de resíduos trocados com o entorno do sistema e os resíduos restantes mostram a quantidade de aqueles que serão descartados.

A ociosidade representa a capacidade das novas empresas sendo subutilizada no decorrer da simulação. As trocas SI mostram justamente a proporção de resíduos sendo reutilizados em relação ao total. A relação lucro e custo é uma medida monetária que compara os custos com a quantidade descartada com o lucro a partir da quantidade de resíduos reutilizada.

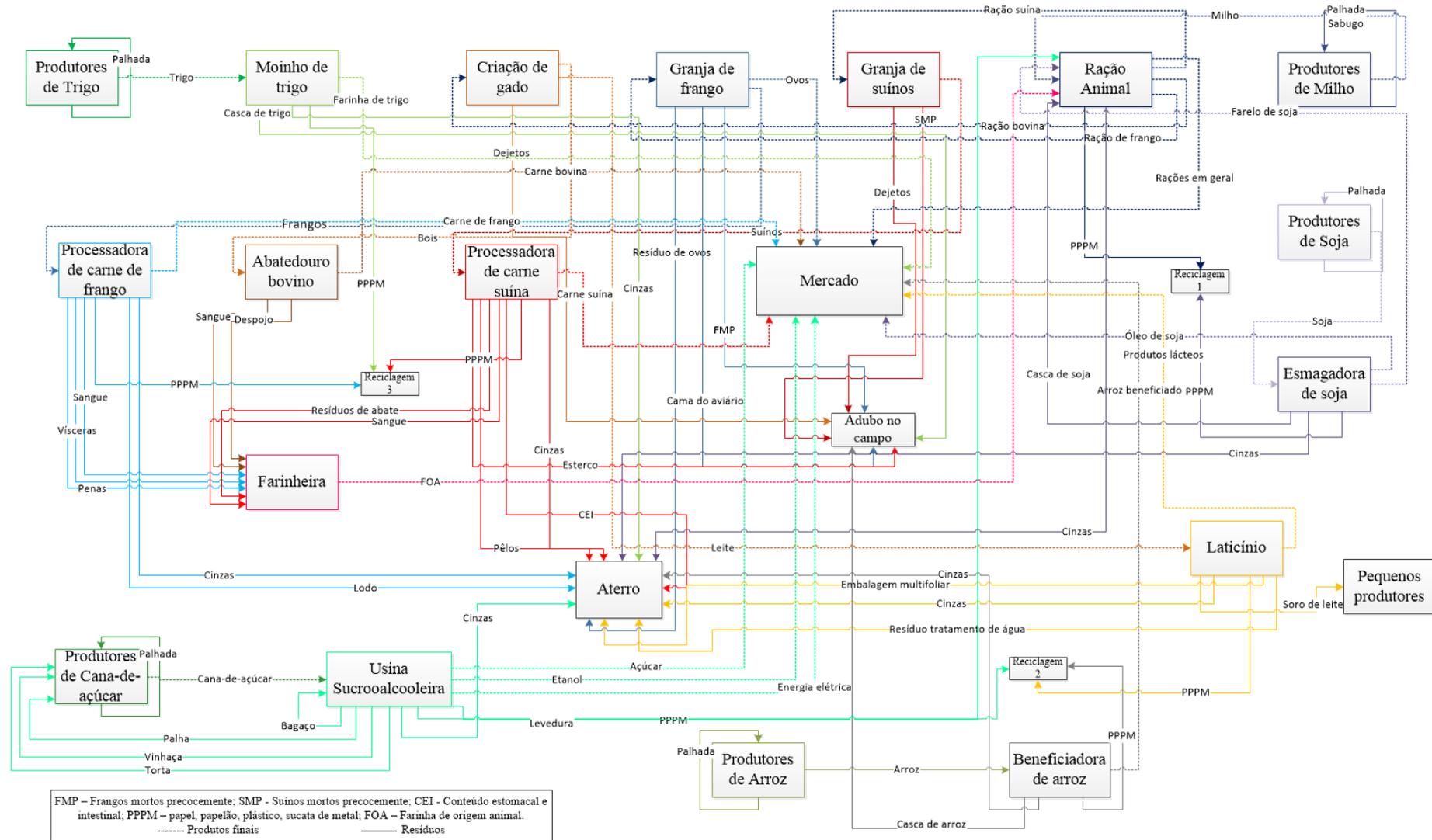
A propensão ambiental encerra as medidas apresentando uma proporção que representa o quanto os agentes estão propensos a tomar a decisão a favor da SI. São oito elementos que juntos influenciam a escolha do sistema em contribuir efetivamente com a SI ou não. Tal medida é uma possibilidade de mensurar o contexto social dos agentes que interfere na estratégia e no objetivo final.

Um ponto crucial identificado nesta coleta de dados foi a falta de integração entre os membros, sendo os relacionamentos tomados apenas por questões comerciais. Nota-se que os funcionários alegam apenas a necessidade de “se livrarem” dos resíduos para não pagarem multas ou agredirem o ambiente de forma notável.

A Figura 37 ilustra a forma como as agroindústrias de Dourados-MS se relacionam atualmente. Cada empresa possui uma cor, para identificar os resíduos de cada um, as setas representam as ligações, com origem e destino, e as setas pontilhadas são produtos finais e as cheias são resíduos.

A Figura 37 retrata o sistema atual encontrado na cidade por meio de contatos eletrônicos, observação nas visitas e entrevistas abertas realizadas. Cada ligação encontrada no sistema real foi representada na referida figura, explicitando o nome do resíduo ou produto que está sendo representado em cada seta.

Figura 37 - Fluxos de produtos e resíduos do sistema atual



Fonte: Elaboração própria.

### 4.3. O modelo computacional

Após a realização da etapa quatro no grupo dois do fluxograma para desenvolvimento da SI, parte-se para a realização do terceiro grupo do fluxograma, com o projeto do sistema com SI, considerando as funções do sistema e seu detalhamento para posterior avaliação.

Para entender as sinergias atuais e o funcionamento do sistema, em questões de resíduos, compra e venda de matéria-prima, relacionamentos entre agentes e estrutura organizacional foi realizado um modelo computacional preliminar para servir como base e fornecer aspectos presentes no sistema atual que devem ser analisados para a estruturação do modelo computacional principal deste trabalho.

Segue a descrição deste modelo preliminar conforme o protocolo de visão global, conceitos de projeto e detalhes (Overview, Design Concepts and Details – ODD), o qual foi projetado para descrever modelos baseados em agentes, com o objetivo de criar descrições de modelos factuais que são completas, rápidas e fáceis de compreender e organizar para a apresentação da informação de forma consistente (RAILSBACK; GRIMM, 2019).

Para cada modelo computacional desenvolvido no *software* Netlogo este protocolo descreve a estrutura do código, seus processos e objetivos. Tal estrutura, conforme Quadro 34, apresenta sete elementos: o propósito e padrões, com a definição da questão ou problema de estudo e o padrão a ser representado no modelo; as entidades, variáveis de estado e escala, com as entidades que participarão do modelo e suas características e atributos e a escala temporal; a visão geral do processo e agendamento, com as ações e comportamentos das entidades definidas e a sequência em que ocorrem; os conceitos de projeto, com a descrição das características comuns da SBA presentes no modelo, com o princípio básico do modelo (função principal), a emergência dos resultados obtidos a partir dos comportamentos, as decisões e respostas dos agentes ao ambiente, o objetivo principal de cada agente, a aprendizagem a partir da experiência, a previsão de resultados futuros a partir de decisões presentes, a sensibilidade para tomada de decisões a partir de certas variáveis, a interação entre os agentes, a estocasticidade presente no modelo, a presença de resultados provenientes de decisões coletivas e a observação dos resultados; a inicialização, como o modelo começa; os dados de entrada e a explicação detalhada de todos os submodelos (RAILSBACK; GRIMM, 2019).

Quadro 34 - Protocolo ODD

	<b>Elementos do protocolo ODD (RAILSBACK; GRIMM, 2019)</b>
<b>Visão global</b>	1. Propósito e padrões
	2. Entidades, variáveis de estado e escalas
	3. Visão geral do processo e agendamento

<b>Conceitos de projeto</b>	4. Conceitos de projeto <ul style="list-style-type: none"> <li>• Princípios básicos</li> <li>• Emergência</li> <li>• Adaptação</li> <li>• Objetivos</li> <li>• Aprendizagem</li> <li>• Predição</li> <li>• Sensibilidade</li> <li>• Interação</li> <li>• Estocasticidade</li> <li>• Coletivo</li> <li>• Observação</li> </ul>
<b>Detalhes</b>	5. Inicialização
	6. Dados de entrada
	7. Submodelos

Fonte: Railsback e Grimm (2019).

#### 4.3.1. ODD para o modelo preliminar

O modelo preliminar é a base do modelo computacional central desta tese, este serve como estrutura inicial para aprimoramento e melhorias no decorrer da pesquisa.

O propósito do modelo preliminar é representar o funcionamento do sistema atual, em relação ao caso estudado, com seus agentes e suas formas de relações, quantidade de relações, seja de troca de resíduos, de subprodutos ou produtos finais. O foco do modelo está em calcular a quantidade de resíduos obtidos a partir da produção diária inserida, e a respectiva quantidade de resíduos utilizados por outros agentes ou descartada em aterros ou campo. Por fim, mostra-se a quantidade de produtos ou suprimentos que são comprados ou vendidos no mercado externo ao sistema, para fornecer uma ideia de como o sistema está no que tange ao uso de recursos do próprio sistema e na integração com os agentes internos.

O padrão utilizado no modelo preliminar corresponde as agroindústrias da cidade de Dourados, considerando principalmente a produção de cada agente e a consequente geração de resíduos.

O modelo apresenta dois tipos de entidades, os agentes do sistema e as ligações que os unem, representando a troca de materiais (descarte, produtos finais, suprimentos ou resíduos para reuso).

Cada agente possui sua produção e geração de resíduos, conforme porcentagens definidas pela literatura ou coleta de dados nas empresas analisadas.

A escala temporal utilizada foi a diária, por representar a produção por dia de cada agente, e a possibilidade de entregas frequentes neste intervalo de tempo já que os resíduos neste setor de indústria apresentam-se de forma perecível e volumosa, como é o caso do agente processador de carne de frango que processa 145.000 frangos por dia.

O processo é realizado de forma discreta para cada passagem de tempo, o caso deste modelo é em dias, onde diariamente cada agente realiza sua produção, gera seus resíduos, compra os suprimentos, vende produtos e estoca itens como o milho, para absorver sua sazonalidade. Para cada troca de materiais, os agentes criam uma ligação com cor correspondente a ligação realizada. Com os dados colocados é possível calcular a proporção em quantidade de cada ligação, a geração de resíduos e a consequente proporção de descarte ou reutilização e a eco-conectância.

O modelo foi projetado principalmente com o intuito de criar relacionamentos entre agentes de um sistema, seguindo os conceitos de SI como o reaproveitamento de resíduos, ou seja, com os cálculos e indicadores focando no fluxo de resíduos e nos materiais descartados.

Para as saídas do modelo preliminar espera-se a proporção de ligações com resíduos e os de descarte e quantidade de resíduos utilizados em relação ao total a fim de obter uma noção do funcionamento do sistema atual neste quesito ambiental.

No que tange a adaptação, o modelo se baseia na busca objetiva indireta, onde este apenas reproduz o padrão de comportamento observado no sistema real.

Os objetivos deste modelo preliminar permeiam apenas a apresentação do funcionamento do sistema real atualmente, focando nos relacionamentos e na produção de resíduos, seu uso ou descarte.

A interação do modelo preliminar ocorre quando os agentes trocam materiais, sejam produtos finais, subprodutos ou resíduos para reaproveitamento ou para descarte.

O único processo estocástico presente no modelo está na produção de cada agente que varia conforme condições climáticas, econômicas, políticas ou mercadológicas, entre outros eventos que podem ocorrer de forma aleatória diariamente. Com isso, o modelo varia sua produção para tentar representar estas mudanças do sistema real.

Para finalizar a parte de conceitos de projeto do ODD, o modelo preliminar mostra os materiais que são vendidos ou comprados do mercado externo, com o intuito de entender o que o sistema precisa obter externamente e o que é aproveitado internamente, a quantidade de resíduos descartados e utilizados, e as ligações existentes.

O ponto de partida do modelo considera a criação dos agentes existentes no caso, e o cálculo inicial dos resíduos gerados conforme produção específica de cada um, como desenvolvido na modelagem desta simulação.

O modelo preliminar precisa de diversos dados de entrada específicos para cada agente, tais como a produção diária, as porcentagens de resíduos em relação aos produtos

transformados, a geração de plástico, papel, papelão e sucata de metal, a geração de cinzas, o peso dos animais mortos, o rendimento das farinhas de origem animal, entre outros.

A cada passagem de tempo os agentes conseguem a matéria-prima, obtendo de seus fornecedores, sejam eles internos ao sistema ou externo. Caso adquiram de agentes internos, há a possibilidade de estocagem, já que alguns agentes como os produtores de milho, soja, arroz, trigo e cana possuem oferta sazonal. Ocorre também a destinação dos resíduos, seja para descarte ou para reaproveitamento, conforme coleta de dados do sistema real.

Um ponto importante nos dados de entrada é a parametrização da porcentagem de uso de produtos de agentes internos ou externos ao sistema. Este parâmetro visa representar a tomada de decisão das empresas que, por exemplo, compram soja de produtores próximos (do sistema) ou escolhem comprar de produtores mais distantes por questões econômicas, mesmo com oferta próxima disponível. Por fim, os cálculos das ligações e dos resíduos utilizados e descartados são apresentados.

Neste ponto da ODD do modelo preliminar são explicados os submodelos presentes para seu funcionamento.

A primeira etapa do modelo foi a criação dos agentes identificados na coleta de dados e que farão parte do sistema. O total de agente criados foi de 23 para o estado atual, considerando, portanto, cinco produtores, três pecuaristas, um aterro, campos para uso de resíduos como adubo, o mercado representando o mundo externo do sistema com vendas e compras gerais, pequenos produtores que utilizam o soro de leite especificamente, recicladores que utilizam de resíduos recicláveis e dez agroindústrias. Cada agente representa todos os agentes de mesmo segmento que compõe o sistema, por exemplo, o agente ração é composto por quatro empresas de ração animal existente em Dourados.

Após a criação dos agentes, foram parametrizadas as variáveis que representam os resíduos de cada um e sua fórmula de cálculo baseada na produção, e na modelagem apresentada anteriormente neste trabalho.

O próximo procedimento foi criar as ligações de transações de resíduos ou produtos finais que existem atualmente no sistema. Para estruturar as ligações foram estipuladas quatro cores, sendo os azuis a representação de ligações de produtos finais que são utilizados como suprimentos em outro agente do sistema, normais da cadeia de suprimentos, os vermelhos sendo os resíduos do sistema que são utilizados como matéria-prima de outro agente, os verdes que representam os produtos finais vendidos ao mercado consumidor e os amarelos que mostram as ligações encarados atualmente como descarte, onde a própria empresa ou contratadas enviam

o material para adubo, compostagem, aterro ou reciclagem, sendo simplesmente levados a uma destinação final, sem estudo sobre o material.

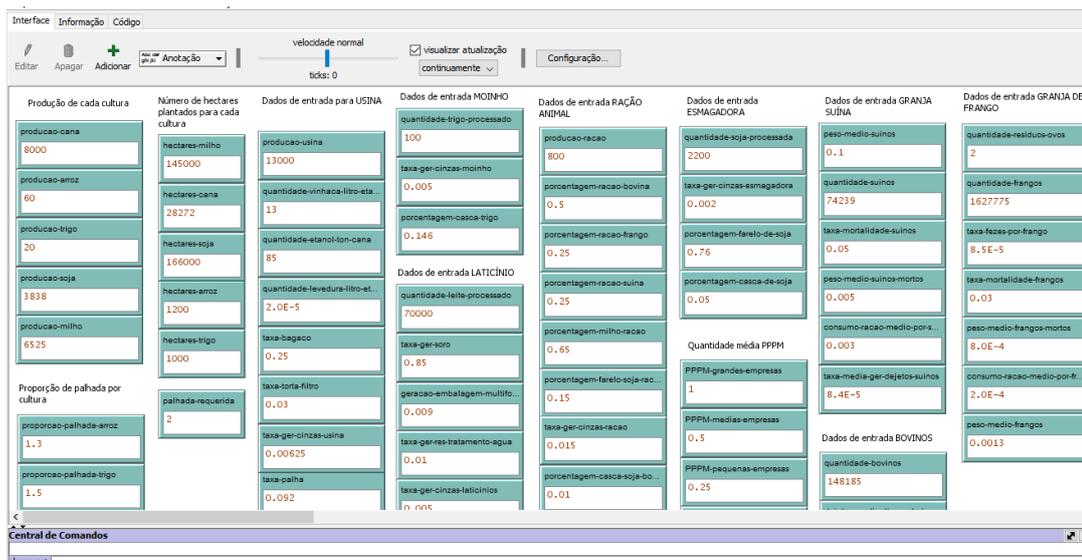
Com as ligações estabelecidas, o programa precisa de comportamentos para cada passagem de tempo, com isso, para cada agente foi dado o que deve ser feito ou calculado em cada rodada. Basicamente o cenário atual encontrado em Dourados, a cada rodada ocorre a produção e geração de resíduos conforme a coleta de dados, com negociações com o mercado e destinação aos resíduos gerados. Por exemplo, a usina recebe cana dos produtores de cana, porém, caso estes não tenham a demanda requerida, a usina compra do mercado externo.

Para cada agente foram coletadas as informações importantes para rendimentos dos processos, onde foi considerado as proporções de geração de resíduos ou de transformação destes em novos produtos. Um exemplo é tal que na produção de farinha de penas tem-se a quantidade final equivalente a 56% da quantidade inicial de penas, já a farinha de sangue possui rendimento de apenas 14% (BELLAYER, 2001; IPPC, 2005).

Para facilitação da simulação deste modelo preliminar, cujo objetivo é servir de base para um novo modelo, onde os agente realizam comércio dentro e fora da cidade, considerou-se que 60% dos produtores rurais de Dourados procuram fornecer para empresas da própria cidade, sem ponderar questões de grupos econômicos, logísticas de abastecimento e outras questões financeiras e que 40% deles vendem para outras cidades. Para uma proporção de 40 % da simulação, a esmagadora de soja prefere comprar soja de outra cidade, caso o grupo corporativo tenha uma unidade de abastecimento lá, e assim, os produtores vendem sua soja para cooperativas de outros locais.

Como este trabalho tem como objeto o setor agroindustrial e este possui alta variedade de dados, o modelo pede diversos dados de entrada para abastecer a simulação (Figura 38). Como dito anteriormente, a produção agrícola é diretamente influenciada pelo clima, pelos cuidados realizados com a terra, pela adubação, pela qualidade da semente, entre outras variáveis. A produção pecuária também está ligada à temperatura, à espécie dos animais, à alimentação, entre outras. Por fim, as agroindústrias dependem da variação da qualidade da matéria-prima, da tecnologia empregada, do portfólio de produtos (como pode ser identificado no caso dos laticínios, onde a maior produção de queijo gera mais soro de leite), entre outros fatores.

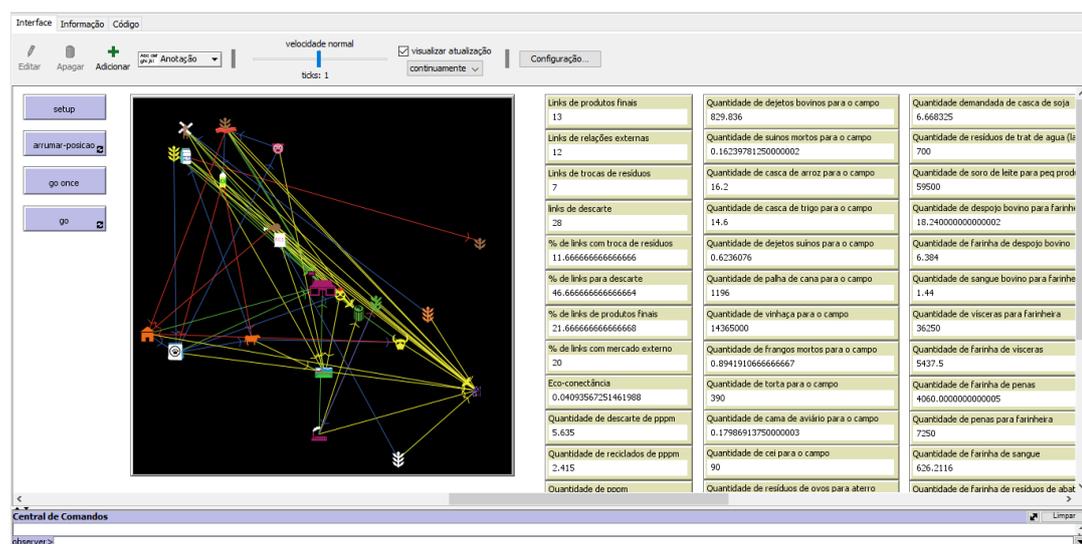
Figura 38 – Monitores para os dados de entrada no *software*



Fonte: Print do *software* Netlogo.

O *software* possui uma tela preta onde ocorrem as simulações, neste caso não há movimentações de agentes, por isso estes ficam fixos na tela. Foram criados diversos monitores na interface do *software* que possibilita ter acesso aos valores das variáveis utilizadas na simulação (Figura 39). Foram monitorados, as quantidades de ligações de cada tipo, as quantidades geradas dos resíduos e enviadas ao local de destinação final e alguns gráficos para controlar a compra e venda no mercado, o nível de estoque nas agroindústrias e especificamente a quantidade de palhada no campo.

Figura 39 - Tela de simulação e monitores



Fonte: Print do *software* Netlogo.

Do Quadro 8 identificado através da literatura, apenas o elemento de realização de trocas foi encontrado, onde agroindústrias realizam a destinação de seus resíduos e a maioria serve para adubar os hectares de terra. Nota-se o uso de resíduos de abate para produção de farinhas de origem animal e a utilização do bagaço para produção de energia. Outro ponto é a venda de

alguns resíduos no mercado, como a casca de soja e a levedura, além de vários outros que são depositados no campo como adubo, como é o caso da vinhaça, torta de filtro, casca de arroz, casca de trigo e dejetos de animais. Um ponto interessante foi a doação de soro de leite para pequenos produtores, não aproveitando tal resíduos para a produção de bebidas lácteas.

Com a realização da simulação pelo período de um ano (360 dias), foram obtidos os seguintes resultados dos indicadores e da análise dos dados:

- a) Existem atualmente no sistema cerca de 60 ligações, destes 11,6 % são de trocas de resíduos, 46,6% são de ligações para descarte, 21,6% de negociações de produtos finais, e 20% de vendas ou compras com o mercado externo;
- b) A Eco-conectância foi equivalente a 0,040935, um valor baixo, onde há poucas ligações de trocas simbióticas ou de relacionamentos em relação ao total de ligações possíveis. Hardy e Graedel (2002) que esperam um máximo de 1 e mínimo de 0, sugerindo melhorias para aumentar as trocas simbióticas urgentemente;
- c) Considerando a quantidade de vinhaça como metade utilizada como adubo no campo e outra metade descartada, como foi verificado nas usinas, pois a vinhaça não é distribuída de forma correta entre os produtores de cana pela complexidade logística, a porcentagem de tonelada de resíduos utilizados é de aproximadamente 49%, portanto, cerca de metade da quantidade de resíduos gerados são aproveitados de forma eficiente no sistema atual. Ao retirar a vinhaça, devido ao seu volume consideravelmente alto, tem-se a proporção de 4,5 % de resíduos sendo usados. Nota-se o fato de considerar a disposição no campo como descarte e não como uso;
- d) Observa-se a importância do agente usina na geração de resíduos, com altos volumes de vinhaça, torta de filtro e bagaço.

Os demais resíduos são apresentados em monitores (em toneladas) no *software* Netlogo para devido acompanhamento e análise dos dados, conforme Figura 40.

A quantidade de vendas para o mercado possibilita perceber quanto de resíduos estão sendo vendidos para o mercado e não aproveitados totalmente dentro do próprio sistema, mas em outro. A casca de soja é vendida na quantidade de 37.199 toneladas, provavelmente para produtores de gado que utilizam tal resíduo para alimentação, pertencendo ou não ao sistema. São vendidas cerca de 2.506 toneladas de farinhas de penas, 533 toneladas de farinha de vísceras, nenhuma tonelada de farinha de despojo bovino e de farinha de sangue, 3.996 toneladas de farinha de resíduos de abate de suínos, 601.920 toneladas de farelo de soja,

756.900 toneladas de milho e 234.118 toneladas de soja. Observa-se que a soja e milho possuem baixa demanda no sistema, o farelo de soja é pouco utilizado também, porém possui valor no mercado externo e as farinhas de origem animal também podem ser mais aproveitadas.

Figura 40 - Monitores das variáveis com valores

Links de produtos finais 13	Quantidade de dejetos bovinos para o campo 298740.9600000018	Quantidade demandada de casca de soja 6.668325
Links de relações externas 12	Quantidade de suínos mortos para o campo 58.46321249999944	Quantidade de resíduos de trat de agua (laticínios) para aterro 252000
Links de trocas de resíduos 7	Quantidade de casca de arroz para o campo 5831.999999999962	Quantidade de soro de leite para peq produtores 21420000
links de descarte 28	Quantidade de casca de trigo para o campo 5256.000000000011	Quantidade de despojo bovino para farinha 6566.399999999947
% de links com troca de resíduos 11.666666666666666	Quantidade de dejetos suínos para o campo 224.4987360000021	Quantidade de farinha de despojo bovino 2298.240000000005
% de links para descarte 46.666666666666664	Quantidade de palha de cana para o campo 297804	Quantidade de sangue bovino para farinha 518.3999999999995
% de links de produtos finais 21.666666666666668	Quantidade de vinhaça para o campo 3576885000	Quantidade de vísceras para farinha 35235
% de links com mercado externo 20	Quantidade de frangos mortos para o campo 321.90878400000236	Quantidade de farinha de vísceras 5285.249999999988
Eco-conectância 0.04093567251461988	Quantidade de torta para o campo 97110	Quantidade de farinha de penas 3946.319999999965
Quantidade de descarte de ppm 2028.7050000000245	Quantidade de cama de aviário para o campo 298.56063051000126	Quantidade de penas para farinha 7046.999999999957
Quantidade de reciclados de ppm 869.4450000000105	Quantidade de cei para o campo 3240	Quantidade de farinha de sangue 1276.88400000001
Quantidade de ppm 2898.150000000035	Quantidade de resíduos de ovos para aterro 720	Quantidade de farinha de resíduos de abate suíno 8748.000000000027
Quantidade de energia 97110000	Quantidade de pêlos para aterro 1620	Quantidade de sangue suíno para farinha 4374.000000000014
Quantidade de bagaço para energia 809250	Quantidade de cinzas para aterro 49243.93799999895	Quantidade de sangue de frango para farinha 4228.199999999971
Quantidade de levedura vendida 5502.9000000000115	Quantidade de embalagem multifoliar para aterro 3.239999999999753	Quantidade de resíduos de abate de suínos para farinha 29160
	Quantidade de casca de soja 39600	

Fonte: Print *software* Netlogo.

Nota-se a geração de palhada no sistema, na época de safra de cada cultura. As quantidades totais foram: 9.360 toneladas de palhada de arroz, 677.280 toneladas de palhada de cana-de-açúcar, 1.087.065 toneladas de palhada de milho, 857.793 toneladas de palhada de soja e 2.670 toneladas de palhada de trigo. A depender da quantidade necessária para a adubação do campo, as culturas que podem fornecer palhada com volume para outros fins são da cana-de-açúcar, milho e soja.

Em relação as compras no mercado, nota-se claramente a quantidade expressiva de frangos comprados no mercado, visto que a cidade produz cerca de 30.000 frangos por dia e abate cerca de 145.000, totalizando 39.177.800 frangos comprados por ano.

Pela baixa oferta compra-se uma média de 7.560 toneladas de arroz, 34.220 toneladas de trigo, 1.245.000 toneladas de cana e 454.256 toneladas de soja, 96.060 toneladas de ração

para bovinos, 8.178 toneladas de ração suína, 45.200 toneladas de ração de frango, 1.026.088 suínos, 128.440 toneladas de milho e 18.480 toneladas de farelo de soja. Observa-se a necessidade de aumentar a cultura de arroz, trigo, cana-de-açúcar e soja e a produção de ração animal para atender o sistema.

A partir do modelo preliminar foi possível compreender o sistema e sua forma de organização. Pode-se perceber a influência do parâmetro para consumo de suprimentos internos ao sistema nas variáveis de compra do mercado externo, a importância de variar a produção para representar a realidade de eventos, a necessidade de incluir o aspecto social para o desenvolvimento da SI, a aplicabilidade de incluir outras empresas para processar os resíduos restantes e a inserção da tomada de decisão dos agentes que escolhem descartar ou reciclar segundo um conjunto de elementos, tal como o custo e o tempo para a destinação. Um ponto a ser corrigido é a questão dos dias, onde no modelo preliminar tínhamos 360 dias por ano, porém sabe-se que em pelo menos 52 dias (domingos) a maioria dos agentes não trabalham, além de eventos esporádicos como chuva, feriados, entre outros.

A simulação precisa prever como a tomada de decisão de seus agentes influenciam no cenário para o desenvolvimento da SI. O modelo preliminar não prevê tal situação e por essa razão torna-se extremamente estático e com valores fixados conforme os dados coletados. O comportamento do sistema necessita de processos dinâmicos, representando o momento em que cada agente decide (baseado em seus preceitos) a forma de descarte ou reaproveitamento e a possibilidade de firmar relacionamentos ou não.

Para entender melhor os preceitos que envolvem a tomada de decisão, foram realizadas algumas entrevistas abertas, conseguidas de forma rápidas nas visitas realizadas, onde foi possível identificar alguns elementos que participam ativamente e diretamente na tomada de decisão para a destinação dos resíduos gerados, como pode ser visto no Quadro 35.

Quadro 35 - Trechos de conversas informais nas visitas técnicas

<b>Diretores Industriais (ou responsáveis pela produção na ausência destes)</b>	<b>Frases ditas a respeito dos resíduos, SI e relacionamentos no decorrer das visitas</b>
Diretor 1	<p>“Nossos resíduos são destinados conforme a lei, está tudo certinho.”</p> <p>“ Nunca tinha ouvido falar da Simbiose Industrial ou Economia Circular. A prioridade é o descarte em aterro mesmo. ”</p> <p>“ Temos o setor de gestão ambiental e procuramos cada vez mais melhorar nosso papel. ”</p> <p>“ Um sistema simbiótico parece meio utópico. Teria que estudar muito os possíveis benefícios e contar com muito apoio do estado. ”</p>
Diretor 2	<p>“Nossos resíduos são tratados e jogados na fazenda da empresa. Não há uma preocupação sobre isso. ”</p> <p>“ A fazenda nos possibilita descartes corretos. ”</p> <p>“ Não sabia sobre estes conceitos ambientais”</p>

Diretores Industriais (ou responsáveis pela produção na ausência destes)	Frases ditas a respeito dos resíduos, SI e relacionamentos no decorrer das visitas
Diretor 3	<p>“É muito difícil conciliar reuniões com outras empresas.”</p> <p>“ Temos uma empresa de coleta e destinação em aterro responsável pelos resíduos. ”</p> <p>“O foco está na forma de destinação mais barata e que demanda menos tempo. ”</p> <p>“ Eu tenho que focar no menor custo, e não ter tanta responsabilidade nisso, não é meu <i>core</i>. ”</p>
Diretor 4	<p>“ Nós usamos tudo que é possível em nosso processo, como o bagaço. Os demais vão para a lavoura de cana. ”</p> <p>“ Outros usos vão depender do retorno à empresa. ”</p> <p>“ Estamos buscando melhorias ambientais. ”</p>
Responsável 1	<p>“ Os resíduos da colheita ficam no campo, sempre foi assim. ”</p> <p>“ O plástico de agrotóxicos é descartado corretamente por uma empresa responsável por isso. ”</p>
Responsável 2	<p>“ Tudo é destinado certinho, a maioria vai para o aterro particular, e lá eles fazem a destinação correta. ”</p> <p>“Alguns resíduos como as cinzas são deixados em nossa propriedade. ”</p> <p>“Essa ideia de Simbiose parece boa. ”</p> <p>“ A sociedade em geral só quer saber de produtos com custo baixo, então temos que fazer o menos custoso possível. ”</p> <p>“ Acho a ideia de um sistema simbiótico muito interessante, porém, deve-se realizar um extenso planejamento e acordo entre todos os envolvidos. ”</p>

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se a relevância do custo para a destinação de resíduos e a baixa pressão do estado, sociedade e clientes para melhorias nas destinações dos resíduos. Faz-se apenas o que está na lei e é cobrado, com menor custo e rapidez, sendo muito mais vantajoso, na visão da liderança, terceirizar a forma correta de destinação.

Com o modelo preliminar foi compreendido e foram analisadas as possibilidades de melhoria em sua estrutura para representar não mais um sistema como está hoje, mas o processo de tomada de decisão para desenvolver a SI. De uma maneira que seja possível enxergar possíveis cenários e decisões que devem ser tomadas para obtenção de melhores resultados no aspecto ambiental.

Para isso, foi desenvolvido o modelo principal com o envolvimento dos agentes sociais e de critérios presentes na tomada de decisão conforme preceitos discutidos anteriormente e presentes nas pesquisas de EEA (2017), Geels (2002), Spekkink (2015), Mirata (2004), Järvenpää, Salminen, Ruohomaa (2019), Teh et al (2014), Wang, Deutz e Chen (2017), Falsafi, Fornasiero e Dellepiane (2017), Boons, Spekkink e Mouzakis (2011), Paivarinne, Hjelm e Gustafsson (2015), Chertow (2000), Fraccascia e Yazan (2018), Albino, Fraccascia e Giannoccaro (2016), Baldassarre et al (2019). Este será explicado conforme o padrão ODD a seguir.

#### 4.3.2. ODD do modelo principal

O propósito do modelo principal é simular um sistema industrial com o desenvolvimento da SI. Entender o comportamento dos agentes, dos relacionamentos e dos indicadores a partir das condições impostas pelos dados de entrada e pelo ambiente. Os agentes tomam a decisão de reutilizar ou descartar seus resíduos, e se realizam relacionamentos com outros agentes ou não.

Os resíduos que são considerados para reaproveitamento devem ser utilizados nas empresas pertencentes ao sistema, em agentes externos ou ainda com a criação de novas indústrias para este fim. O modelo cria as novas empresas conforme a necessidade do sistema e capacidade das novas indústrias.

Um ponto importante do modelo principal é a consideração de questões como a influência do estado, universidades, coordenadores, do mercado ou redes financeiras, no desenvolvimento de relacionamentos e trocas simbióticas.

Como padrão de referência para a simulação, o modelo começa a partir de um sistema, neste caso representado pelas agroindústrias da cidade de Dourados-MS, e busca mostrar o comportamento de seus agentes conforme o ambiente ao qual estes estão inseridos, considerando relacionamentos, trocas simbióticas, capacidade institucional, custo, inovação, entre outros conceitos a serem discutidos posteriormente neste tópico. A partir das condições encontradas no sistema real, torna-se possível compreender como o sistema evoluirá, em relação aos resíduos e relacionamentos, e ainda identificar como o sistema deve funcionar para que o sucesso da SI seja o melhor possível.

O modelo possui principalmente agentes como representação das empresas pertencentes ao sistema, da seguinte maneira: as agroindústrias da região e os produtores rurais das principais culturas; o mercado que representa os clientes das empresas e consumidores dos produtos; o aterro que representa os locais de descarte e destinação do lixo não utilizado, público do município ou particular, além de considerar também os demais locais de descarte dos resíduos em forma de compostagem ou não, como o campo, florestas ou propriedades rurais; as universidades locais que participam com pesquisas sobre reuso ou reciclagem de resíduos; o coordenador que realiza a gestão do sistema a fim de favorecer a SI e seu desenvolvimento; as novas empresas que são criadas conforme demanda de trocas simbióticas do sistema; e por fim o estado e redes financeiras que podem possuir uma participação direta no ambiente, porém, não foram caracterizados como agentes concretos na simulação. Estes agentes sociais participam incentivando ou não o surgimento de novas trocas simbióticas e relacionamentos.

Além dos agentes, o modelo considera a criação de ligações entre os membros do sistema. Estas aparecem como de descarte, de relacionamento, de troca de resíduos, de suprimentos e de vendas de produtos finais para o mercado.

Cada agente possui sua própria produção, conforme coleta de dados e consequente geração de resíduos de acordo com informações disponíveis na literatura e verificadas na coleta de dados também.

A escala temporal utilizada foi a diária, assim como do modelo preliminar, pelo mesmo motivo das entregas frequentes neste intervalo de tempo, considerando que os resíduos neste setor de indústria apresentam-se de forma perecível e volumosa, como é o caso do agente usina que processa cerca de 13.000 toneladas de cana por dia.

O modelo é executado em cada passo de tempo, neste caso em dias, em uma ordem determinada pela sequência dos submodelos presentes no código, onde cada ação requerida é executada pelos agentes em ordem em que estão no programa. Quando ocorre uma ação a ser executada por vários agentes no mesmo momento, a ordem de execução é aleatória.

A visão geral do processo deste modelo computacional é tal que o modelo se inicia com o processo definido como “setup” onde os agentes pertencentes ao sistema são criados e o tempo começa a ser contado.

O processo seguinte realiza a criação das ligações existentes no sistema real entre os agentes pertencentes do sistema, e possibilita a criação das ligações futuras que serão criadas no decorrer da simulação, podendo ocorrer na cor amarela para descarte, azul para suprimentos, verde para produtos finais ou vermelho para resíduos. Neste modelo principal foi adicionado uma nova categoria de ligação, a de relacionamentos, representado pela cor branca na simulação.

O passo seguinte calcula a quantidade de resíduos gerada conforme as equações apresentadas na modelagem do sistema, baseando-se na produção diária de cada agente.

A propensão ambiental é calculada a partir dos dados inseridos na entrada do modelo. Esta variável representa os critérios ambientais que influenciam diretamente a tomada de decisão dos agentes, este número é o principal fator para o sucesso ou fracasso da SI no sistema. Esta variável considera oito elementos importantes para o desenvolvimento e evolução da SI encontrados na literatura e apresentados nas entrevistas abertas com os diretores ou responsáveis durante a coleta de dados.

Cada elemento deve ser classificado em uma escala de 0 a 4 para medir seu desenvolvimento em cada agente ou no sistema como um todo. O pior resultado para cada

elemento é o nível 0 e o melhor é o nível 4, portanto, quanto maior o nível em cada elemento, mais propenso ao desenvolvimento e favorecimento da SI o sistema ou agente está.

O primeiro elemento é a capacidade institucional do sistema, conceito encontrado em Spekkink (2015), o qual considera a capacidade relacional entre os agentes, através da interação e confiança, a capacidade de conhecimento com a qualidade do conhecimento e o alinhamento de problemas e soluções, e a capacidade de mobilização com a estratégia compartilhada e liderança comprometida. Sua classificação é apresentada no Quadro 36.

Quadro 36 - Classificação para capacidade institucional

<b>Capacidade Institucional</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	Os atores não possuem qualquer capacidade para ações coletivas baseadas na qualidade do grau de envolvimento ou confiança, na qualidade do conhecimento ou alinhamento de problemas e soluções ou na qualidade da existência de visões estratégicas e liderança de forma compartilhada.
1	Os atores possuem pouca capacidade para ações coletivas baseadas na qualidade do grau de envolvimento ou confiança, na qualidade do conhecimento ou alinhamento de problemas e soluções ou na qualidade da existência de visões estratégicas e liderança de forma compartilhada.
2	Os atores são capazes de realizar ações coletivas baseadas na qualidade do grau de envolvimento ou confiança, na qualidade do conhecimento ou alinhamento de problemas e soluções ou na qualidade da existência de visões estratégicas e liderança de forma compartilhada.
3	Os atores possuem muita capacidade e certa agilidade para ações coletivas baseadas na qualidade do grau de envolvimento ou confiança, na qualidade do conhecimento ou alinhamento de problemas e soluções ou na qualidade da existência de visões estratégicas e liderança de forma compartilhada.
4	Os atores são extremamente capazes e ágeis para realizar ações coletivas baseadas na qualidade do grau de envolvimento ou confiança, na qualidade do conhecimento ou alinhamento de problemas e soluções ou na qualidade da existência de visões estratégicas e liderança de forma compartilhada.

Fonte: Elaboração própria.

O nível zero significa que o sistema não possui capacidade institucional e, portanto, o desenvolvimento da SI será mais complexo e demandará esforços consideráveis. O nível 1 mostra que o sistema possui confiança e compartilhamento entre alguns atores, o que facilita a ocorrência de ações coletivas como a SI. O nível 2 ocorre quando no mínimo a maioria dos agentes conseguem realizar ações coletivas no sistema e influenciar os demais a participarem. O nível 3 mostra que o sistema consegue realizar ações coletivas com praticamente todos os agentes e que esses podem tomar algumas decisões que favorecem o coletivo quando for importante para a estratégia conjunta. O nível 4 traz um sistema onde todos os agentes realizam ou podem realizar ações coletivas e em qualquer momento é possível tomar decisões que favoreçam o coletivo.

O segundo elemento é o papel do estado, suas políticas públicas ambientais e sua influência direta na realização da SI, conforme pesquisas de Mirata (2004), Järvenpää, Salminen, Ruohomaa (2019), Geels (2002), Teh et al (2014) e Wang, Deutz e Chen (2017). Neste elemento são consideradas as leis e normas que podem obrigar as empresas a se adequarem, como por exemplo a PNRs. Sua classificação é apresentada no Quadro 37.

Quadro 37 - Classificação para políticas públicas ambientais

<b>Políticas públicas ambientais</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	As leis e normas ambientais do estado para a SI são inexistentes, ou se existem não são exigidas ou fiscalizadas, sem presença de multas e demais cobranças para seu cumprimento. O apoio do estado é nulo.
1	Constam algumas leis e normas ambientais para a SI que devem ser seguidas para que a indústria funcione. Existe fiscalização esporádica para cumprimentos das leis e normas, e multas com baixo valor em caso de descumprimento. O apoio do estado é nulo.
2	Existem um número razoável de leis e normas ambientais para a SI que contemplam a maior parte dos possíveis impactos ambientais, que devem ser seguidas para que a indústria funcione. A fiscalização é esporádica para cumprimentos das leis e normas, e podem ser aplicadas multas com valores de impacto mediano no caixa de cada tipo de indústria, em caso de descumprimento. O apoio do estado existe, com apoios esporádicos e programas de incentivo.
3	Existem normas e leis ambientais para a SI que contemplam a eliminação de todos os possíveis impactos ambientais, para que a empresa funcione. A fiscalização é periódica para cumprimentos das leis e normas, e multas são aplicadas com valores de impacto alto para o caixa de cada tipo de indústria, em caso de descumprimento. O apoio do estado existe, com apoios, programas e incentivos.
4	Existem normas e leis ambientais para a SI que contemplam a eliminação de todos os possíveis impactos ambientais, para que a empresa funcione. A fiscalização é frequente para cumprimentos das leis e normas, e multas são aplicadas com valores de impacto extremamente alto para o caixa de cada tipo de indústria, em caso de descumprimento. O apoio do estado existe de várias formas, com apoios, programas, incentivos fiscais e financeiros, premiações e subsídios.

Fonte: Elaboração própria.

O terceiro elemento é a influência da demanda, ou seja, dos consumidores dos agentes que possuem o poder de compra, e optam por produtos de indústrias que realizem contribuições ambientais positivas como com a aplicação da SI, ou impulsionam melhorias ambientais no produto e/ou empresa. Elemento retirado de Falsafi, Fornasiero e Dellepiane (2017), Geels (2002) e EEA (2017). Sua classificação é apresentada no Quadro 38.

Quadro 38 - Classificação para a influência da demanda

<b>Influência da demanda</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	Os clientes não exigem qualquer contribuição ambiental positiva ou redução de impactos ambientais, eco-eficiência, e nem melhorias no sistema para torná-lo uma economia circular.
1	Os clientes exigem algumas contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais pontuais para cada tipo de indústria, porém não até o patamar de cobrar eco-eficiência ou desenvolvimento de economia circular.
2	Os clientes exigem reduções de impactos ambientais e algumas contribuições positivas ao meio ambiente conforme cada tipo de indústria e cobram de forma leve a eco-eficiência e desenvolvimento de economia circular.
3	Os clientes exigem redução de todos os impactos ambientais que cada tipo de indústria possa gerar, requisitam contribuições com impactos positivos ao meio ambiente, esperam eco-eficiência e desenvolvimento de economia circular.
4	Os clientes exigem redução de todos os impactos ambientais que cada tipo de indústria possa gerar, requisitam diversas contribuições com impactos positivos ao meio ambiente, demandam eco-eficiência e desenvolvimento de economia circular.

Fonte: Elaboração própria.

O quarto elemento é a influência da sociedade tanto nas indústrias e suas condutas ambientais, como nas autoridades públicas, conforme Boons, Spekkink e Mouzakitis (2011), Geels (2002) e EEA (2017). Sua classificação é apresentada no Quadro 39.

Quadro 39 - Classificação para a influência da sociedade

<b>Influência da sociedade</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	A sociedade não exige qualquer forma de contribuição ambiental positiva ou redução de impactos ambientais, eco-eficiência, e nem melhorias no sistema para torná-lo uma economia circular.
1	A sociedade exige algumas contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais pontuais para cada tipo de indústria, porém não até o patamar de cobrar eco-eficiência ou desenvolvimento de economia circular.
2	A sociedade exige reduções de impactos ambientais e algumas contribuições positivas ao meio ambiente conforme cada tipo de indústria e cobram de forma leve a eco-eficiência e desenvolvimento de economia circular.
3	A sociedade exige redução de todos os impactos ambientais que cada tipo de indústria possa gerar, requisitam contribuições com impactos positivos ao meio ambiente e esperam eco-eficiência e desenvolvimento de economia circular.
4	A sociedade exige redução de todos os impactos ambientais que cada tipo de indústria possa gerar, requisitam diversas contribuições com impactos positivos ao meio ambiente e demandam eco-eficiência e desenvolvimento de economia circular.

Fonte: Elaboração própria.

O quinto elemento é o apoio das redes de pesquisa, incluindo universidades e institutos técnicos, que viabilizam trocas ambientais e tecnologias para reuso e reciclagem de resíduos, além de favorecer a criação de relacionamentos para novos projetos. Elemento retirado de Geels (2002) e EEA (2017). Sua classificação é apresentada no Quadro 40.

Quadro 40 - Classificação para apoio de redes de pesquisa

<b>Apoio das redes de pesquisa</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	As redes de pesquisa não apoiam ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais.
1	As redes de pesquisa apoiam algumas das ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais, considerando apenas os projetos com alta possibilidade de retorno e benefícios.
2	As redes de pesquisa apoiam algumas das ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais, considerando apenas os projetos com possibilidade de retorno e benefícios.
3	As redes de pesquisa apoiam as ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais, e buscam projetos de inovação ambientais.
4	As redes de pesquisa apoiam e incentivam as ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais, e buscam constantemente projetos de inovação ambientais.

Fonte: Elaboração própria.

O sexto elemento é o custo, um dos mais importantes, pois é justamente este que traz o aspecto econômico para a tomada de decisão. Onde indústrias orientadas a ganhos econômicos tendem a realizar as ações ambientais menos custosas, tal como descarte em aterros. O custo é uma barreira impactante para a SI como apresentado nas pesquisas de Paivarinne, Hjelm e gustafsson (2015), Chertow (2000), Fraccascia e Yazan (2018), Fraccascia, Giannocaró e Albino (2017) e Albino, Fraccascia e Giannocaró (2016). Sua classificação é apresentada no Quadro 41.

Quadro 41 - Classificação para custos

<b>Custo</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	O custo das ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais é o elemento principal na tomada de decisão e classifica-se como extremamente impactante.
1	O custo das ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais é considerado na tomada de decisão e classifica-se como altamente impactante.
2	O custo das ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais é discutido na tomada de decisão e classifica-se como impactante.
3	O custo das ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais é discutido na tomada de decisão, porém deve ser absorvido pelos benefícios ambientais.
4	O custo das ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais é levantado pelo sistema na tomada de decisão. Os resultados destas ações são mais importantes do que o custo, para o qual o sistema busca constante redução.

Fonte: Elaboração própria.

O sétimo elemento é o apoio e influência da rede de financiadores, com taxa de juros, regras financeiras, premiações, investimentos, apoio financeiro, suporte econômico e seguros, conforme Geels (2002), Teh et al (2014), Baldassarre et al (2019) e EEA (2017). Sua classificação é apresentada no Quadro 42.

Quadro 42 - Classificação para apoio de redes financiadoras

<b>Apoio de financiadoras</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	As redes financeiras não fornecem apoio para desenvolver ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais.
1	As redes financeiras fornecem apoio somente para ações coletivas com comprovada taxa de sucesso e taxa de retorno para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais.
2	As redes financeiras fornecem apoio somente para ações coletivas com probabilidade alta da taxa de sucesso e de retorno para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais.
3	As redes financeiras fornecem apoio para as ações coletivas com possível taxa de sucesso e de retorno para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais. Estas fornecem incentivos e crédito para estes tipos de ações com frequência.
4	As redes financeiras fornecem apoio para todas as ações coletivas para obter contribuições ambientais positivas ou reduções de impactos ambientais. Estas fornecem incentivos e crédito para estes tipos de ações constantemente.

Fonte: Elaboração própria.

O último elemento é um indicador da porcentagem de atividades relacionadas a SI conforme Quadro 8 desta tese. Quanto maior o número de atividades realizadas entre os agentes do sistema, maior a porcentagem deste elemento. Sua classificação é apresentada no Quadro 43.

Quadro 43 - Classificação conforme realização das atividades de SI

<b>Atividades importantes de SI</b>	
<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
0	Caso a porcentagem de pontos importantes para SI (Planilha A) corresponda a menos de 20% dos pontos totais.
1	Caso a porcentagem de pontos importantes para SI (Planilha A) corresponda a mais de 20% e menos de 40% dos pontos totais.
2	Caso a porcentagem de pontos importantes para SI (Planilha A) corresponda a mais de 40% e menos de 60% dos pontos totais.

Atividades importantes de SI	
Nível	Descrição
3	Caso a porcentagem de pontos importantes para SI (Planilha A) corresponda a mais de 60% e menos de 80% dos pontos totais.
4	Caso a porcentagem de pontos importantes para SI (Planilha A) corresponda a mais de 80% dos pontos totais.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 41 apresenta uma planilha (Planilha A) para calcular o número de pontos que cada agente possui conforme o número de atividades e categorias, utilizando o método de cálculo que será explicado no submodelo Calcular-atividades-sistema.

Figura 41 - Planilha para cálculo dos pontos conforme atividades de SI

Pontos importantes da SI							
Stakeholder:	Responsável:			Data:			
<b>1- Compartilhamentos</b>	<b>0</b>	<b>2- Resíduos</b>	<b>0</b>	<b>3- Relacionamentos</b>	<b>0</b>	<b>4- Evolução conjunta</b>	<b>0</b>
a. Compartilhamento de recursos	0	a. Trocas simbióticas	0	a. Cooperação	0	a. Visão compartilhada	0
b. Compartilhamento de serviços	0	b. Análise de entrada e saída	0	b. Troca de "Know-how"	0	b. Cultura interorganizacional	0
c. Compartilhamento de utilidades	0	c. Redução de descarte	0	c. Integração	0	c. Aprendizagem conjunta	0
d. Compartilhamento de infraestrutura	0	d. Redução de poluição	0	d. Participação no Eco-centro	0	d. Pensamento coletivo	0
e. Compartilhamento de informação e suporte	0	e. Redução do uso de matéria-prima virgem	0	e. Confiança	0	e. Mobilização para SI	0
f. Compartilhamento de custo	0	f. Correspondência entre oferta e demanda de resíduos	0				
g. Compartilhamento de risco e benefícios	0						
h. Reciclagem comum	0						
<b>5- Stakeholders</b>	<b>0</b>	<b>6- Estratégia</b>	<b>0</b>	<b>7- Melhoria contínua</b>	<b>0</b>	<b>Resultados</b>	
a. Participação da comunidade	0	a. Estratégia de regulação	0	a. Inovação	0	Pontuação total:	0
b. Participação dos stakeholders	0	b. Capacidade de adaptação	0	b. Soluções coletivas	0	Porcentagem:	0%
c. Comunicação entre stakeholders	0	c. Absorção de eventos inesperados	0	c. Ganhos com resíduos	0		
d. Obtenção de benefícios sociais	0	d. Uso de indicadores	0	d. Desenvolvimento de embalagens* com menor vida útil	0		
		e. Estabelecimento de contratos	0				

\*Para o caso com indústrias de produtos alimentícios, para as demais considerar o produto também

Fonte: Elaboração própria.

Um ponto importante a ser considerado na planilha A é que o nível de complexidade e consequente prazo para conclusão é maior no decorrer das categorias, onde a categoria 1, com compartilhamentos, é mais simples de realizar do que a categoria 7 que trata de melhoria contínua, com pesquisa e inovação.

O próximo passo do modelo é alterar a produção de cada agente conforme variação definida nos dados de entrada. O intuito é representar as alterações presentes no sistema real.

No submodelo seguinte, cada agente realiza suas compras de suprimentos necessários, vendem suprimentos e produtos finais disponíveis ao mercado externo, e realizam a produção específica de cada um, gerando a quantidade de resíduos estipulada. Conforme os resíduos são gerados, os agentes tomam a decisão de descartar em aterro ou disponibilizar para reutilização no sistema ou em empresas situadas externamente a ele. Tal decisão é diretamente influenciada pelo nível da variável propensão ambiental, a qual incorpora elementos importantes para o desenvolvimento e favorecimento da SI.

Com os resultados dos cálculos de cada agente torna-se possível obter a quantidade total de resíduos que estão à disposição para reuso e aqueles que foram descartados. Neste caso específico de Dourados-MS, os resíduos de abate são utilizados para fabricação de farinha de origem animal na própria unidade de abate ou em uma indústria farinheira que opera na cidade

e por isso não aparecem no modelo como disponíveis, nem como descartados. Nesta parte do modelo tem-se também o cálculo das trocas de SI, ou seja, a porcentagem de resíduos que está sendo reutilizada. Outro ponto analisado é a relação ganho por tonelada de resíduo reutilizado pelo custo por tonelada de resíduo descartado, para identificar se o sistema está tendo ganhos ou perdas econômicas (focando no custo ou ganho dos resíduos apenas, sem considerar aumento de vendas ou premiações por exemplo).

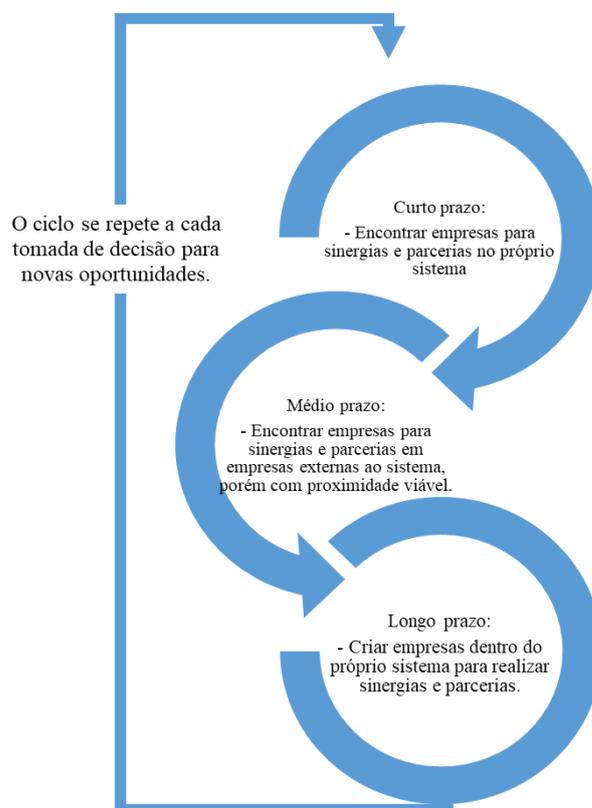
Com os resíduos disponíveis obtidos, tem-se uma porcentagem definida nos dados de entrada para aproveitamento externo, representando a busca por empresas na região que possam reutilizar estes resíduos em seus processos. Após a busca externa, tem-se os resíduos restantes que indicam a quantidade disponível para que novas empresas sejam criadas a fim de utilizá-los e melhorar a SI.

Nesta etapa considera-se que a curto prazo o sistema busca realizar trocas simbióticas com os agentes integrantes do próprio sistema. Esgotado esta possibilidade, tem-se o cenário a médio prazo que busca trocar resíduos com empresas situadas externamente ao sistema, porém próximas o suficiente para desenvolver parcerias e sinergias. Por fim, caso o meio externo não forneça tal possibilidade, o caminho descrito no modelo é de criar novas empresas para reutilizar os resíduos, realizar sinergias e parcerias. O padrão para realizar trocas simbióticas fica definido conforme a Figura 42.

Nota-se a ideia de circularidade no curto, médio e longo prazo, devido ao fato de que a qualquer momento em que no médio prazo, alguma empresa integrante do sistema possa atender a nova oportunidade de sinergia, esta torna-se a preferência na tomada de decisão. O mesmo ocorre para o longo prazo, que possui empresas do sistema e da região como prioridade.

Três variáveis são definidas como medidas complementares do desenvolvimento da SI, os projetos ambientais de sucesso, que dependem diretamente dos relacionamentos firmados entre os agentes, em segundo a inovação, que considera as taxas de projetos de sucesso a eco-conectância e indiretamente possui relação com a quantidade de relacionamentos também, crescendo de forma conjunta. Quanto maior os números de projetos ambientais de sucesso e maior os relacionamentos entre agentes maior a possibilidade de realizar inovação ambiental. E a terceira variável, a integração, que é calculada de forma similar à eco-conectância, porém, inclui as ligações de suprimentos, produtos finais e subprodutos também, não apenas aqueles relacionados à SI. Portanto, a integração representa que um sistema industrial com empresas pertencentes a mesma cadeia de valor possui maior probabilidade de realizar interações e relacionamentos, por já realizarem contratos (HERCZEG; AKKERMAN; HAUSCHILD, 2018).

Figura 42 - Ciclo para busca de trocas simbióticas



Fonte: Elaboração própria.

A última ação do modelo é que se houver um coordenador no sistema, este favorecerá a criação de novos relacionamentos, o desenvolvimento de mais atividade de SI e a evolução da variável propensão ambiental. Para representar que os relacionamentos possuem prazos, e dar certo dinamismo a eles, o coordenador baseia-se na variável chamada de potência dos relacionamentos para encerrá-los, onde quanto maior a potência, maior a duração dos relacionamentos. A potência dos relacionamentos será definida nos dados de entrada do modelo.

Para finalizar a simulação, a passagem do tempo, os gráficos e os monitores são atualizados para posterior análise.

Sobre os conceitos de projeto do ODD, o modelo principal baseia-se no desenvolvimento da SI em um sistema, considerando capacidade institucional, apoio do estado e de universidades, atividades de SI realizadas, custo para a SI, apoio de redes financeiras e influência da sociedade e dos clientes. Estes conceitos são ponderados por cada agente na tomada de decisão, para realizar relacionamentos e/ou trocas simbióticas de resíduos. Para simplificação do modelo, os compartilhamentos, cooperações e interações são todos incluídos nos relacionamentos (representados pelas ligações brancas).

O modelo busca mostrar basicamente como os resíduos são reutilizados ou descartados e como os relacionamentos ocorrem no sistema composto por agroindústrias de Dourados-MS. O modelo consegue identificar o impacto da presença de um coordenador, estado ou mercado influente por exemplo, além de prever o melhor cenário possível e qual o caminho ideal para obtê-lo.

A emergência presente no modelo se apresenta na criação de ligações de relacionamento e de trocas simbióticas. Através dos dados inseridos, o modelo retorna uma quantidade ótima de novas empresas que são criadas para reutilizar os resíduos, uma quantidade de relacionamentos, a consequente eco-conectância e a relação de ganhos e perdas com os resíduos. Outros pontos são a quantidade de projetos ambientais de sucesso, o nível de integração e de inovação, a quantidade de reuniões e o número de resíduos restantes, disponíveis e descartados.

A adaptação ocorre no momento da tomada de decisão presente no modelo quando se considera a variável propensão ambiental. Conforme a propensão ambiental é alterada, os agentes tomam decisões diferentes para realizar, ou não, os relacionamentos e escolhem o local para destinar seus resíduos.

Os objetivos do modelo estão relacionados com o fato de mostrar, a partir dos dados de entrada, como o sistema se comportará com os resíduos, como será a necessidade de criação de novas empresas e quantos serão os relacionamentos entre os agentes. Além de apresentar como a presença de um coordenador, estado, consumidores com requisitos de contribuições ambientais dos produtos e universidades impactam no sistema com desenvolvimento da SI.

A detecção está presente no modelo apenas na variável propensão ambiental, em que todos os agentes detectam seu valor para tomar decisões. E a consequência destas decisões podem levar a criação de novas empresas, que criariam novos relacionamentos e trocas simbióticas.

A interação do modelo é realizada de forma que cada agente cria ligações conforme seu tipo de interação com os demais agentes. As ligações de descarte são realizadas com o aterro e o agente deve ter resíduos para este fim, as ligações de suprimentos representam a relação entre fornecedor e produtor, as ligações de produtos finais representam a venda para o mercado, as ligações de trocas simbióticas mostram sinergias entre empresas para reutilização de resíduos e as ligações de relacionamento ocorrem com frequência dependente diretamente da variável propensão ambiental e da presença do coordenador. Uma vez criados, as ligações de relacionamentos podem ser interrompidas conforme a variável potência dos relacionamentos, mostrando que alguns destes possuem duração menor e maior em um sistema real.

O modelo apresenta estocasticidade em duas questões, na produção dos agentes, representando eventos que podem ocorrer e aumentar ou diminuir a fabricação de produtos. E na propensão ambiental que possui uma pequena variação para representar mudanças de opinião, de gestão, de estratégia, ou políticas, por exemplo, que possam ocorrer.

Para observação, o modelo apresenta gráficos e monitores para os resíduos descartados e colocados como disponíveis para cada agente e para acompanhar algumas variáveis. Estas são: a integração do sistema, a possibilidade de inovação, os projetos de sucesso, as reuniões realizadas, a eco-conectância, o número de agentes, o indicador das atividades realizadas de SI, os resíduos restantes, a ociosidade das empresas, a relação de ganhos e perdas com os resíduos, a propensão ambiental, a possibilidade de multas ambientais e a quantidade de empresas criadas.

A inicialização do modelo principal ocorre com a criação dos agentes constituintes do sistema, bem como seus dados específicos, como produção e proporção de resíduos. São colocados também as atividades de SI que cada agente realiza, a variação da produção observada, a potência dos relacionamentos, a porcentagem de resíduos sendo utilizados externamente ao sistema, a capacidade das novas empresas, a taxa de utilização de recursos internos do sistema, a variação da propensão ambiental, o ganho com reutilização de resíduos por tonelada, o custo médio com o descarte por tonelada de resíduos e a presença ou não do estado, consumidores com apelo ambiental, universidades e de um coordenador.

Os submodelos presentes no modelo principal estão explicados conforme o Quadro 44.

Quadro 44 - Submodelos do modelo computacional principal

Submodelos	Descrição
Variar-produção	Representa a variação da produção dos agentes, para cada um é aumentado ou reduzido de forma aleatória o valor da produção, tendo o máximo de redução ou aumento definido nos dados de entrada.
Parametrizar-resíduos	Este submodelo realiza os cálculos da quantidade de resíduos específicos gerados por cada agente, como por exemplo penas de frango, cinzas ou plástico, papel, papelão e sucata de metal.
Criar-links	As ligações são criadas para cada agente que realize qualquer uma das formas de interação com movimentação de materiais, seja para descarte, troca simbiótica, suprimentos ou vendas. No caso de descarte, o modelo verifica se há resíduos a serem descartados pelo agente, se sim, cria-se uma ligação amarelo com o aterro, se não, a ligação não é criada. Caso a ligação com o aterro tenha sido criado na rodada anterior, e na atual ele não exista mais, ele é apagado da simulação.
Rodar-produtores	Este submodelo é o principal desta simulação, onde a tomada de decisão dos agentes ocorre. Para os produtores rurais, verifica-se se há geração de palhada (época de colheita) e conforme a propensão ambiental e a necessidade de palhada para adubar a terra, coloca-se o excedente de palhada para ser considerado como disponível ou para descarte. Neste caso, descarte significa deixar toda a palhada no campo independente de precisar ou não. O agente beneficiadora decide conforme taxa de uso de recursos internos definida se compra arroz do sistema ou externo, e caso a oferta seja menor que a demanda, este compra o restante do mercado externo. Caso a oferta de arroz seja maior que a demanda, é feito

	<p>um estoque para suprir a demanda anual (até a próxima safra) e os produtores vendem o excedido. Os demais resíduos deste agente são classificados em descarte para aterro ou disponível para uso conforme a propensão ambiental. O mesmo ocorre para o moinho, com o trigo, para a usina com a cana, e para a esmagadora com a soja. No caso da esmagadora de soja, há também a decisão de vender o excedente de casca de soja que não foi utilizada no farelo independente do comprador ou utilizar em algum outro agente do sistema. No caso da usina, o bagaço é convertido em energia em sua totalidade. O laticínio decide sobre descartar ou disponibilizar os resíduos e sobre a compra ou venda de leite, a compra é realizada se a oferta de leite for menor que a demanda, e para o contrário, o restante é vendido para o mercado externo. Pelas características do leite, a prioridade é usar a quantidade produzida internamente ao sistema prioritariamente. Os agentes gado, granja suína e granja de frango decidem sobre a compra de ração interna ou externa ao sistema (conforme a taxa de uso de recursos internos) e a destinação de seus resíduos para descarte em aterro ou reutilização externamente ou por outro agente. O abatedouro, processador de carne de frango e processador de carne suína decidem sobre a compra de animais externamente ao sistema apenas em caso de oferta abaixo da demanda, sobre a venda de animais apenas em caso de demanda abaixo da oferta, e sobre a destinação dos resíduos para descarte ou reuso, conforme propensão ambiental também. O agente ração decide sobre a compra de milho interna ou externa ao sistema conforme a taxa de uso de recursos internos, com estocagem para suprir a demanda anual e venda de milho pelos produtores ao mercado externo em caso de baixa demanda interna. O agente realiza a mesma decisão com o farelo de soja e a esmagadora e sobre a destinação dos resíduos. Conforme a propensão ambiental, este agente decide incorporar farinha de origem animal em sua produção, para reutilizar os resíduos de abate do sistema. O agente farinha transforma os resíduos de abate em farinha de origem animal e buscam atender a demanda interna, com a venda do excedente para o mercado externo, além de optar pela destinação de seus resíduos conforme os demais agentes. Por fim, cada um dos agentes decide também sobre a reciclagem ou destinação em aterros das cinzas e dos resíduos de papel, plástico, papelão e sucata de metal, referidos no modelo como PPPM.</p>
Rodar-reciclagem	Calcula a quantidade total de papel, papelão, plástico e sucata de metal disponível para reciclagem e descartados para aterro de todos os agentes.
Calcular-links	Calcula a porcentagem de cada tipo de ligação e a eco-conectância, que envolve o número de ligações de relacionamentos ou trocas de resíduos em relação a todas as ligações possíveis.
Rodar-tempo	Realiza a contagem do tempo. A quantidade de dias no ano foi definida como 300 dias para absorver os domingos, feriados e outros eventos. Como a safra é um período contínuo, este foi transformado para o novo período, portanto se a safra da soja leva em torno de 150 dias de 365 totais, na simulação ela leva o equivalente a 126 dias de 300 totais.
Calcular-atividades-sistema	Utilizar da planilha A desenvolvida no Microsoft Excel e representada na Figura 45, onde constam 37 atividades importantes para a SI conforme Quadro 8. Os pontos importantes da SI foram divididos em sete categorias conforme característica e conceitos similares entre eles. Cada categoria possui uma quantidade de pontos, e para cada ponto que o agente realize, este obtém um ponto, e se este completar a categoria toda, adiciona-se o número equivalente da categoria em sua pontuação total, por exemplo, se a empresa consegue desenvolver os cinco pontos da categoria de relacionamentos, esta adiciona três pontos em sua pontuação. O indicador de atividades de SI realiza a somatória da pontuação de todos os agentes do sistema, divide este número pela somatória da pontuação máxima de todos os agentes e multiplica-se por 100, sendo o melhor resultado 100 e o pior 0. Conforme a propensão ambiental o indicador de atividades de SI aumenta seu valor, ou seja, os agentes procuram realizar mais atividades de SI e quanto maior a propensão ambiental, maior o aumento ao longo da simulação.
Troca-informações	Este submodelo melhora os relacionamentos entre os agentes, de forma que se houver a presença do apoio de universidades ou a presença do mercado como influência para contribuições ambientais, favorecerá o aumento do número de relacionamentos. E conforme a variável potência dos relacionamentos, são criadas mais ligações para este fim ou elas são encerradas de forma aleatória pelo <i>software</i> . O que representa a aleatoriedade dos relacionamentos e de suas durações.
Calcular-projetos-amb	Calcula-se a quantidade de projetos possíveis de sucesso no sistema. Este indicador considera a porcentagem de ligações de relacionamento entre os agentes entre todos os relacionamentos possíveis e mais a propensão ambiental para aumentar os números de

	projetos com sucesso ou fracasso. Quanto maior a propensão ambiental e a porcentagem de ligações de relacionamento maior o número de projetos de sucesso.
Calcular-inovação-amb	Este indicador considera a taxa de projetos de sucesso mais a eco-conectância para seu aumento, e a taxa de projetos de fracasso para sua redução. O fator que decide o aumento ou redução é a variável propensão ambiental.
Calcular-integração	Primeiramente é obtida a variável reunião diretamente ligada à propensão ambiental e a presença ou não de um coordenador, sendo que quanto maior a propensão ambiental e com a presença do coordenador no sistema, maior a possibilidade de realizar reuniões, e quanto maior a quantidade de reuniões, maior a integração. Com a quantidade de reuniões a integração considera a quantidade de ligações de trocas simbióticas, de relacionamentos e de suprimentos mais um bônus de 0.1, se não forem realizadas as reuniões, a integração não recebe o bônus. Quanto maior o número da integração, melhor.
Calcular-resíduos	Este submodelo realiza a somatória dos resíduos colocados à disposição e os que foram descartados. Por fim, caso os resíduos descartados forem maior do que 0 e exista a presença forte do estado, acrescenta-se um número aleatório entre 0 e 0.1 para a possibilidade de multa que será somado ao longo do tempo. Ao final tem-se um número de estimado de multas, para ajudar na comparação dos cenários, onde torna-se evidente a presença de resíduos sendo descartados.
Calcular-trocas-resíduos	Neste momento são retirados dos resíduos úteis aqueles que são utilizados nas empresas externas ao sistema, como alternativa a médio prazo. Para ajudar a determinar esta porcentagem sugere-se o uso da planilha B mostrada na Figura 47, onde consta a porcentagem de resíduos usados externamente em relação ao total. Neste momento é calculado o resíduo restante para uso, subtraindo dos resíduos úteis os resíduos usados externamente e os resíduos utilizados por cada empresa nova criada. Caso a simulação considere apresentar novos cenários, e a quantidade de resíduos restantes for maior que a capacidade produtiva das novas empresas (aquelas que farão parte do sistema para aproveitar os resíduos em seus processos), cria-se uma nova empresa com a dada capacidade, considerando também a variável tempo para criação de empresas, a qual estipula um período (de 30 em 30 dias) entre a criação de uma empresa e outra, podendo ser de 0 até 300 dias. Com isto, reduz-se esta capacidade dos resíduos restantes, e na rodada seguinte repete-se este processo de criação. Caso os resíduos restantes tornem-se negativos significa que o sistema produziu menos resíduos e as novas empresas estão com capacidade ociosa, mostrando no gráfico com a variável ociosidade. Conforme o valor da propensão ambiental as novas empresas criam ligações de trocas simbióticas e criam ou encerram relacionamentos. Neste momento são também calculadas as variáveis trocas-SI e lucro-custo, onde a primeira considera a quantidade de resíduos trocados pela SI dividido pela quantidade total de resíduos e a segunda utiliza a quantidade de resíduos trocados multiplicado pelos ganhos por cada tonelada reutilizada subtraído pela quantidade de resíduos descartados multiplicado pelo custo de descarte.
Calcular-propensao-ambiental	Calcula-se a propensão ambiental baseado em oito pontos: capacidade institucional, políticas públicas, influência da demanda, influência da sociedade, apoio das redes de pesquisa, custo, influência de financiadoras e atividade importantes da SI. A propensão ambiental sofre uma pequena variação a cada 150 dias (um semestre) no caso de haver presença do estado, mercado e universidades, representando a melhoria nestes elementos. O valor máximo da propensão ambiental é 100.
Organizar-si	Neste subprocesso é medido o impacto do coordenador no sistema, conforme a potência dos relacionamentos definida nos dados de entrada, ele cria ou encerra relacionamentos entre os agentes do sistema, além de auxiliar no desenvolvimento de mais atividades importantes para a SI (conforme Quadro 8).

Fonte: Elaboração própria.

A Planilha de controle (Planilha B) para calcular a quantidade de resíduos que são ou podem ser utilizados em empresas externas ao sistema e pertencentes à região é mostrada na Figura 43, a qual está com os resíduos do caso analisado para exemplificação.

Figura 43 - Planilha para controle do uso de resíduos externamente

Planilha de controle de uso de resíduos externamente					
Código	Resíduos disponíveis	Quantidade	Porcentagem do total	Aproveitamento externo	Restante
1	Palhada de arroz	1000	1	200	800
2	Palhada de milho	0	0	0	0
3	Palhada de soja	0	0	0	0
4	Palhada de trigo	0	0	0	0
5	Palhada de cana	0	0	0	0
6	Cinzas	0	0	0	0
7	Plástico/Papel/Papelão/Sucata de metal	0	0	0	0
8	Casca de arroz	0	0	0	0
9	Casca de soja	0	0	0	0
10	Levedura	0	0	0	0
11	Torta de filtro	0	0	0	0
12	Bagaço de cana	0	0	0	0
13	Vinhaça	0	0	0	0
14	Palha de cana	0	0	0	0
15	Soro de leite	0	0	0	0
16	Resíduos de tratamento de água - laticínio	0	0	0	0
17	Dejetos bovinos	0	0	0	0
18	Dejetos suínos	0	0	0	0
19	Cama de granja de frango	0	0	0	0
20	Suínos mortos	0	0	0	0
21	Frangos mortos	0	0	0	0
22	Resíduos de ovos	0	0	0	0
23	Despojo bovino	0	0	0	0
24	Sangue bovino	0	0	0	0
25	Penas	0	0	0	0
26	Visceras de frango	0	0	0	0
27	Sangue de frango	0	0	0	0
28	Pêlos suínos	0	0	0	0
29	Resíduos abate de suínos	0	0	0	0
30	Sangue suíno	0	0	0	0
31	Conteúdo estomacal intestinal de suínos	0	0	0	0
		<b>Total</b>		<b>Total de uso externo</b>	<b>Total Restante</b>
		1000		200	800
				<b>Porcentagem de uso externo</b>	<b>Porcentagem de restante</b>
				20%	80%

Fonte: Elaboração própria.

## 4.1. Verificação do modelo

### 4.1.1. Verificação

A verificação foi realizada para analisar se o modelo computacional representa o ODD apresentado e consegue simular o sistema real com as perspectivas requeridas. O modelo é baseado no comportamento dos agentes e em sua decisão perante os dados colocados, o que pode acarretar em comportamentos que não se manifestam durante a simulação de um dado cenário.

Para resolver tal desafio, foram realizadas diversas simulações de cenários totalmente diferentes, inclusive com dados de casos extremos, como o pior e melhor caso, comparando o comportamento dos agentes e os dados de saída, para posterior análise e verificação com o esperado pela literatura e consequentemente pelo modelo conceitual. Cada erro ou desvio de comportamento foi corrigido até que os cenários apresentassem dados coerentes com as entradas e processos modelados.

Com as simulações foi possível identificar que o comportamento esperado do sistema é coerente com o encontrado na literatura e com o observado no sistema real. A relação entre as

variáveis ocorreu de forma esperada também, onde a simulação de fato mostrou as relações diretas e indiretas existentes.

O modelo computacional foi simulado com os dados reais, mostrando que as saídas estão coerentes com o sistema real. A integração atual é baixa, considerando apenas o reuso de resíduos de abate e do bagaço, há muito mais resíduos a serem descartados, retirando-se apenas as toneladas de bagaço geradas pela usina, que são colocadas como úteis no sistema (geram energia). A criação de novas empresas é nula, existem cerca de três trocas simbióticas entre as empresas abatedoras e a produtora de farinha de origem animal e a quantidade de ligações para relacionamentos também é nula. Por fim, sempre haverá custos com resíduos, considerando a alta taxa de descarte e poucos ganhos com reutilização de resíduos.

Para auxiliar na verificação do modelo foram procurados os representantes de cada agente e professores doutores da área ambiental, que pesquisam sobre gerenciamento de resíduos e eco-eficiência no ambiente do caso analisado, ou seja, Dourados-MS e região. Ressalta-se a importância de considerar outros pesquisadores posteriormente a esta tese para mais dados.

Foram encontrados quatro professores doutores e pesquisadores na área desejada, pertencentes a região do caso analisado, três professores da UFGD e um professor da UFMS de Campo Grande. Estes tiveram acesso ao ODD do modelo computacional, ao modelo em si e ao programa, bem como aos resultados de alguns cenários (pior caso, melhor caso, e o caso real). Todos os professores aprovaram o modelo computacional e seus resultados, como uma abordagem coerente para simulação de cenários considerando aspectos sociais e trocas simbióticas.

#### **4.2. Resultados da simulação**

Neste tópico realizaram-se as análises do modelo principal como resultado para a tomada de decisão e avaliação de estratégias para o desenvolvimento da SI no caso analisado. Verificou-se a aplicabilidade do modelo principal também, considerando a participação dos agentes sociais apresentados nesta tese.

Para realizar a simulação e confirmar como deve ser o desenvolvimento da SI no caso analisado, foram criados três cenários para posterior análises, por um período de cinco anos. Nem todos os cenários devem ser analisados, mas apenas aquelas que possibilitem a compreensão e aplicabilidade do modelo (KELTON; SADOWSKI; SADOWSKI, 2001). Foram escolhidos o melhor cenário, o pior cenário e aquele que considera os dados reais coletados como sugerido por Railsback e Grimm (2019) para submeter o modelo em situações

críticas e verificar o comportamento das variáveis, bem como comparar os resultados com o obtido no sistema real.

#### 4.2.1. O cenário 1

Este cenário representa a situação ótima para o desenvolvimento da SI, onde todos os agentes realizam todas as atividades importantes de SI. Para a principal variável do modelo, a propensão ambiental, é dado o nível 4 para todos os seus elementos e a potência dos relacionamentos é a maior possível, representando projetos duradouros entre os agentes. Neste caso considera-se a presença forte do estado, do mercado consumidor, das universidades e de um coordenador no sistema. O prazo para criação das empresas novas é de 30 dias apenas, mostrando flexibilidade para mudanças.

A simulação ocorreu por 1500 unidades de tempo (dias), mostrando o comportamento do sistema por cinco anos.

Neste cenário ótimo, observa-se conforme a Figura 44 que o número de agentes atingiu a quantidade de 32 empresas, ou seja, foram criadas 12 empresas considerando a capacidade de 3.000 toneladas de processamento por dia. Ressalta-se que conforme a capacidade é aumentada, o número de novas empresas é reduzido, por exemplo, com a capacidade de 4.000 toneladas de processamento são criadas 8 empresas em média.

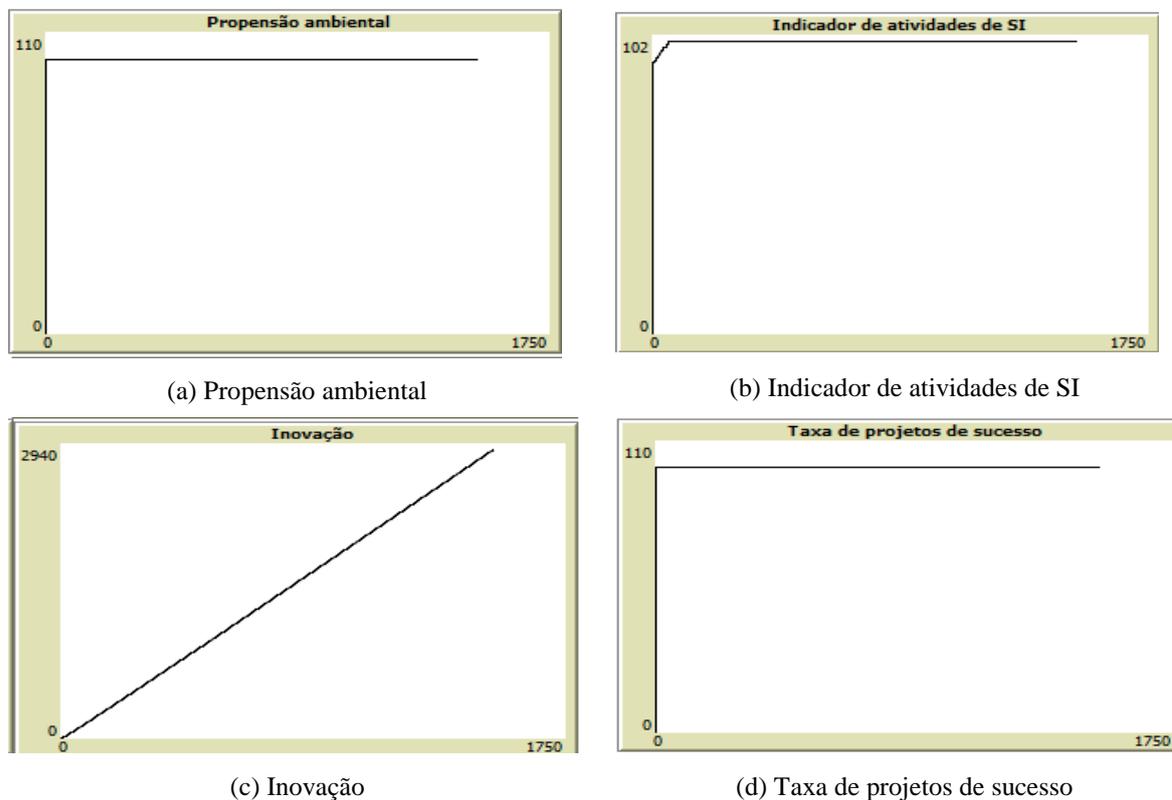
Figura 44 - Número de agentes do cenário 1



Fonte: Elaboração própria.

A variável propensão ambiental manteve-se em 100% (seu patamar máximo), assim como as atividades de SI também foram todas realizadas em sua totalidade. Como era esperado, a taxa de projetos de sucesso acompanhou a propensão ambiental em seu valor máximo de 100% também. A inovação segue a taxa de projetos de sucesso e a eco-conectância, aumentando acentuadamente com o passar dos anos e experiência do sistema, atingindo o valor de 2.960. Estes dados podem ser vistos na Figura 45.

Figura 45 - Medidas ambientais para o cenário 1



Fonte: Elaboração própria.

A integração do sistema foi crescente e com valor de aproximadamente 960 ligações entre os agentes do sistema, com expressivo aumento de quantidade conforme a criação de novas empresas, e conseqüente realização de novos relacionamentos e trocas simbióticas (Figura 46). Além de considerar a quantidade expressiva de 1.500 reuniões, que dependem diretamente da propensão ambiental e por isso, este valor foi máximo também, atingindo uma reunião por dia.

Figura 46 - Integração do sistema do cenário 1



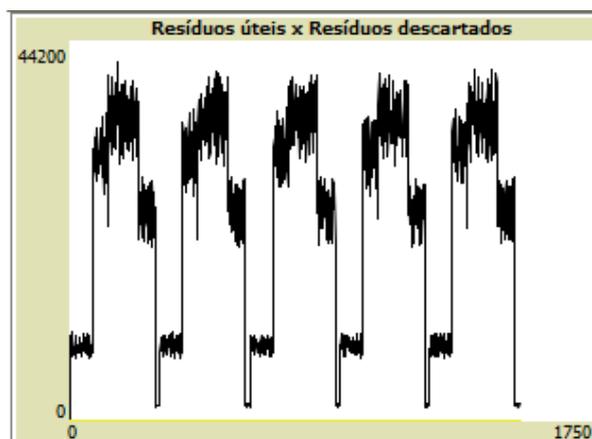
Fonte: Elaboração própria.

Um ponto importante observado foi que os resíduos restantes sem o agente usina sucroalcooleira permeiam o volume de 9.600 toneladas, e por isso, quando a capacidade das

novas empresas é definida acima deste valor, o sistema não processa estes resíduos até o início das operações da usina. Portanto, a usina eleva consideravelmente o volume de geração de resíduos, e o sistema sem este agente deve criar empresas com capacidade inferior a 10.000 toneladas por dia no total.

Os resíduos disponíveis para serem reutilizados foram um total de 36 milhões de toneladas em cinco anos em média, e os resíduos de descarte somaram 0 toneladas. A Figura 47 traz o comportamento da quantidade de resíduos disponíveis conforma safra e entressafra.

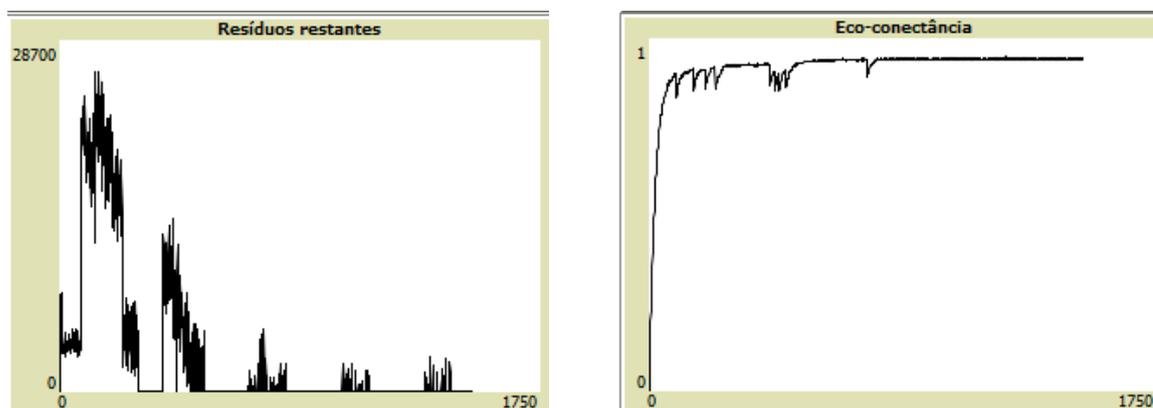
Figura 47 - Quantidade de resíduos disponíveis para reuso e para descarte



Fonte: Elaboração própria.

Conforme mostrado na Figura 48(a), os resíduos restantes têm um pico no primeiro ano, quando ainda não foram criadas as novas empresas que utilizarão destes resíduos. Após a criação de cada nova empresa de acordo com o período entre criações de empresas, o gráfico vai diminuindo os valores e praticamente mantém a quantidade de resíduos restantes próxima de 0 no final da simulação, com alguma pequena alteração cíclica conforme o passar dos anos. Ressalta-se que quanto maior a capacidade de processamento das novas empresas, mais rápida e acentuada é a ocorrência da redução dos resíduos restantes.

Figura 48- Quantidade de resíduos restantes e a eco-conectância



(a) Quantidade de resíduos restantes

(b) Eco-conectância

Fonte: Elaboração própria.

A eco-conectância acompanha as melhorias do sistema, segundo a Figura 48(b) crescendo de forma acentuada no primeiro ano, com as novas empresas e seus consequentes relacionamentos e trocas simbióticas, e continua crescendo ligeiramente até chegar no final do quinto ano em 94%. Ressalta-se que quanto maior o número de novas empresas e consequente ligações entre elas e o sistema, mais próximo de 100% será a eco-conectância. Por exemplo, com a capacidade definida em 500 toneladas de processamento por dia, a eco-conectância atinge o valor de 97%.

A porcentagem de resíduos trocados pela SI acompanha diretamente o valor da propensão ambiental e permanece próximo dos 100%, após a criação de cerca de dez empresas (capacidade 3.000) onde ocorre a criação das novas empresas, conforme a Figura 49.

Figura 49 - Porcentagem de resíduos trocados no cenário 1



Fonte: Elaboração própria.

Os ganhos com resíduos, ilustrado na Figura 50, acompanham a quantidade de resíduos úteis, que neste caso de propensão máxima é muito maior do que a quantidade de resíduos descartados. O gráfico dos resíduos úteis mostra a participação volumosa do agente usina sucroalcooleira, onde sua entrada após 76 dias do início do ano altera de forma impactante o volume de resíduos e cai acentuadamente após seu término de operação na rodada 286 de cada ano, as palhadas também alteram o volume de resíduos gerados, porém com impacto menor, principalmente a do milho, soja e cana.

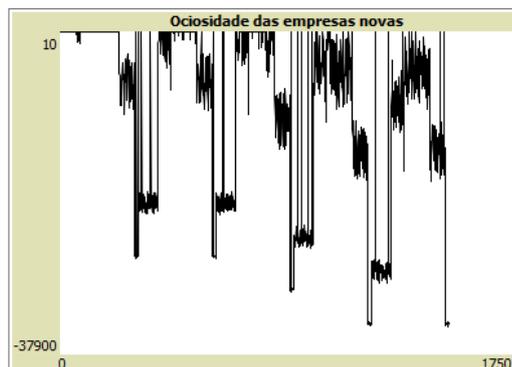
Figura 50 – Ganhos (+) ou perdas (-) com resíduos no cenário 1



Fonte: Elaboração própria.

A ociosidade ocorre quando a usina encerra suas atividades na entressafra, o que reduz o volume de resíduos nos últimos dias do ano e início do próximo, com isso a capacidade de processamento que foi baseada para os picos de volume de resíduos fica sem matéria-prima. Com as dez empresas criadas, o período de entressafra da usina chega a ter ociosidade de 34.000 toneladas (Figura 51).

Figura 51 - Ociosidade das novas empresas do cenário 1



Fonte: Elaboração própria.

As ligações de relacionamentos está em 827 após 5 anos, ligeiramente próximo de seu máximo, que para este caso e em nestas condições, está em 832. Tanto as ligações de trocas simbióticas quanto as ligações de relacionamentos têm crescimento conforme as novas empresas são criadas, pois dependem diretamente destas para serem criados (Figura 52). No caso de serem criadas 50 empresas com capacidade de processamento de 100 toneladas por dia, são formados cerca de 3.950 ligações de relacionamentos e 1.210 ligações de trocas simbióticas.

Figura 52 - Ligações de relacionamentos e de trocas simbióticas no cenário 1



Fonte: Elaboração própria.

Neste cenário, o número de projetos ambientais ficou em possíveis 2.500, com 0 projetos ambientais fracassados, pois estes crescem conforme o aumento de ligações de relacionamentos.

Apesar da presença do estado no sistema, não houveram resíduos descartados e consequentemente a quantidade de possíveis multas ficou em 0.

Um ponto interessante de análise neste cenário é a influência da presença ou não de um coordenador no sistema, onde este impacta positivamente nas ligações entre os agentes, e principalmente na realização de reuniões, conforme Quadro 45.

Quadro 45 - Comparação da presença ou ausência do coordenador no sistema

Presença de coordenador?	Ligações de relacionamentos	Reuniões	Integração
Sim	865	1500	1018
Não	771	158	925

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.2. O cenário 2

Este cenário representa o pior cenário para o desenvolvimento da SI, onde os elementos da propensão ambiental assumem valor de 0 e os agentes realizam cerca de três atividades de SI apenas, com pelo menos a busca por redução de descarte, redução da poluição e por ganhos econômicos com resíduos. O ganho por tonelada reutilizada é o mesmo do que o custo para descarte, e a potência dos relacionamentos assume o valor de 2, representando ligações fracas e mais curtas.

Neste cenário, não há a presença do mercado consumidor (influenciando as melhorias ambientais), universidades, estado e do coordenador no sistema. O prazo para criação de novas empresas é de 150 dias, representando a necessidade de um tempo maior para discussões, a fim de realizar qualquer mudança no sistema.

Neste cenário a eco-conectância assume valor de 0 (Figura 53(b)), o número de agentes ficou em 20 para uma capacidade de 4.000 e 21 para a capacidade de 3.000 (Figura 53(a)). A

propensão ambiental fica em 0 (Figura 53(c)), e o indicador de atividades de SI permanece em 4,6% (Figura 53(d)). A integração está em torno de 17 ligações apenas (Figura 53(e)), pois mantém apenas as trocas que já existem, e a taxa de projetos de sucesso está em 0% (Figura 53(f)).

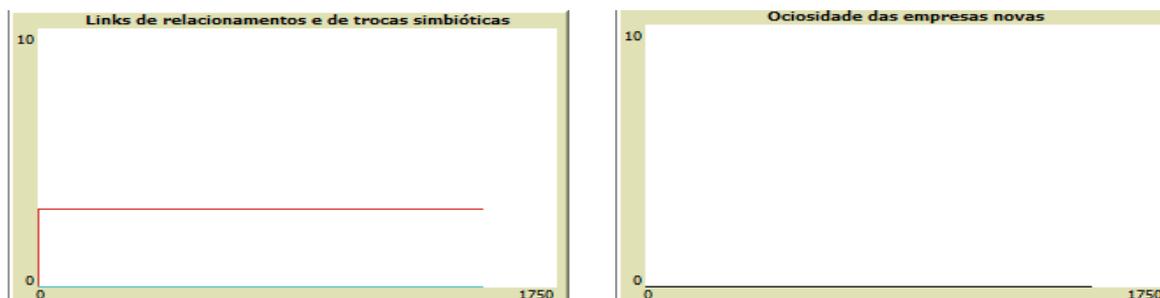
Figura 53 - Medidas da simulação para o cenário 2



Fonte: Elaboração própria.

A quantidade de trocas simbióticas fica em 3 ligações apenas, e não houve qualquer relacionamento entre os agentes do sistema conforme ilustrado na Figura 54(a). Como não houveram resíduos disponíveis suficientes para a criação de novas empresas, não houveram mais ligações e a ociosidade foi nula (Figura 54(b)).

Figura 54 - Ligações ambientais e ociosidade do cenário 2



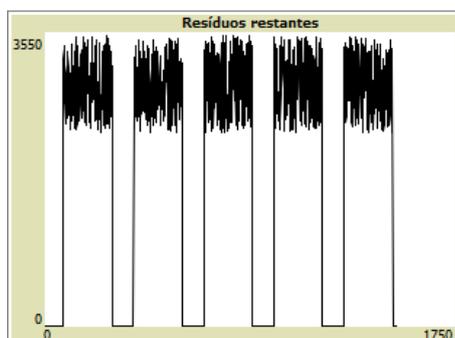
(a) Ligações de relacionamentos e de trocas simbióticas

(b) Ociosidade das empresas novas

Fonte: Elaboração própria.

A quantidade de resíduos restantes apenas acompanhou a geração de bagaço como pode ser visto na Figura 55, mostrando que independente da propensão ambiental as usinas disponibilizam o bagaço para reuso, já que esta prática é realizada no sistema real, independentemente do nível de propensão ambiental, como um padrão definido e aceito. Neste modelo o bagaço está como disponível por considerar a possibilidade de uso por outra empresa ou na produção de etanol de segunda geração caso for mais lucrativo, porém no sistema real analisado o bagaço é utilizado na geração de energia pela própria usina.

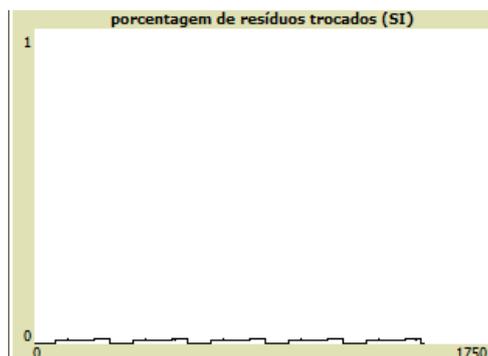
Figura 55 - Quantidade de resíduos restantes no cenário 2



Fonte: Elaboração própria.

No caso da porcentagem de resíduos trocados, mostrado na Figura 56, esta possui valores em torno de 0% a no máximo 11%, considerando o bagaço de cana e os resíduos de abate que similarmente a utilização do bagaço para produção de energia, sempre são reutilizados para produção de farinha de origem animal.

Figura 56 - Porcentagem de resíduos trocados no cenário 2

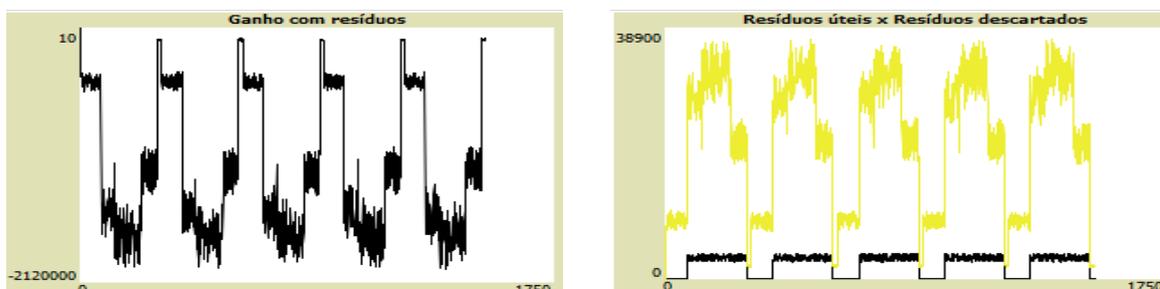


Fonte: Elaboração própria.

Este cenário apresentou cerca de 3.500 toneladas de resíduos restantes, portanto, se a capacidade das novas empresas for menor que este valor, elas serão criadas. Por exemplo, para a capacidade de 3.000 toneladas de processamento, a simulação cria uma empresa e para a capacidade de 1.000 toneladas, a capacidade cria 3 empresas. Com a criação destas empresas, os resíduos restantes diminuem, as trocas simbióticas aumentam e as ligações de trocas simbióticas também. Como ponto negativo, a ociosidade volta a estar presente no sistema, nos períodos de entressafra.

A relação de ganho e custo com resíduos está negativa neste cenário, conforme a Figura 57(a), representando que o custo com o descarte é maior do que os ganhos com a reutilização de resíduos disponíveis, já que há menos de 1% de resíduos sendo reaproveitados. Conforme os valores de ganho e custos definidos na entrada como iguais em 50 unidades monetárias, o custo pode chegar no patamar de 2 milhões. Em relação aos resíduos úteis e descartados, ilustrado na Figura 57(b), observa-se o domínio de resíduos sendo descartados em todos os períodos do sistema. A quantidade de resíduos descartados ficou em 32,8 milhões de toneladas e os resíduos disponíveis em 3,4 milhões de toneladas.

Figura 57 - Ganhos (+) ou perdas (-) com resíduos e quantidade de resíduos úteis e descartados no cenário 2



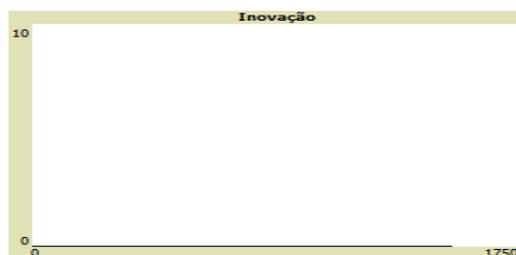
(a) Ganho com resíduos  
(b)

(b) Resíduos úteis e descartados

Fonte: Elaboração própria.

O número de possíveis projetos fracassados ficou em 75, enquanto que o número de projetos de sucesso ficou nulo e a quantidade estimada de reuniões foi de 98 em 1.500 dias, destacando a falta de integração e de relacionamentos do sistema, com conseqüente inovação a valor 0 (vide Figura 58).

Figura 58 - Inovação no cenário 2



Fonte: Elaboração própria.

Para a análise da influência do coordenador e demais agentes sociais neste cenário foi elaborado o Quadro 46 a seguir, considerando a capacidade das novas empresas de 3.000 toneladas.

Quadro 46 - Comparação com a presença do coordenador e demais agentes sociais

Presença de coordenador?	Ligações de relacionamentos	Reuniões	Integração	Propensão ambiental (%)	Indicador atividades SI (%)
Sim	4	164	37	17,1	84
Não	0	125	18	0	4,5
Demais agentes sociais	28	181	69	19,2	91

Fonte: Elaboração própria.

Com a presença do coordenador, observa-se um aumento da propensão ambiental para 17,1%, aumentando diversas variáveis com isso, a integração variou de 18 para 37 ligações (aumento de 100%). Nota-se um aumento no indicador de atividades de SI de 4,5% para expressivos 84%, mostrando a participação efetiva do coordenador no sistema para promoção e realização das atividades de SI.

A participação do coordenador favoreceu o aumento da quantidade de ligações de relacionamentos e de troca simbióticas, bem como a criação de novas empresas para reutilização de resíduos disponíveis.

Com a presença dos agentes sociais, ou seja, com a influência do mercado consumidor, estado, universidades e do coordenador, a quantidade de empresas criadas sobe para duas, a propensão ambiental aumenta de para cerca de 18,3% e conseqüentemente aumenta a inovação, integração e quantidade de relacionamentos e trocas simbióticas, como pode ser visto na Figura 59. Deve-se colocar que com a presença do estado foram estimadas 82 multas por descarte de resíduos.

Figura 59 - Ligações de relacionamentos e trocas simbióticas no cenário 2



Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.3. O cenário 3

Neste cenário representa-se o sistema real encontrado em Dourados-MS, através dos dados coletados e da observação realizada.

Para cada agente foi estipulado a realização (ou busca para realização) de 4 a 7 atividades importantes da SI. O prazo para criação de novas empresas ficou em 120 dias, a potência dos relacionamentos em 5, a porcentagem de uso externo em 10% (por haver poucas empresas que possam aproveitar os resíduos na região, prioritariamente agrária) e a taxa de uso de recursos internos em 70%, sem presença forte de estado, universidades, mercado e coordenador.

Para classificação dos elementos da propensão ambiental, foram enviados *e-mails* para obtenção de opiniões a respeito deste aspecto na cidade de Dourados-MS. A classificação dos elementos da propensão ambiental foi baseada em pesquisadores da UFGD e UFMS desta região e respostas obtidas por meio dos *e-mails* enviados, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Nível de classificação dos elementos do caso conforme os entrevistados

Elementos da propensão ambiental	Entrevistados (P: Pesquisadores; R: Responsáveis das empresas)										Média
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	P1	P2	P3	P4	
Capacidade Institucional	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1,4
Políticas públicas	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1,7
Demanda	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0,8
Sociedade	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1,3
Custo	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0,2
Universidades	3	3	2	3	2	2	3	3	3	3	2,7
Redes Financeiras	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1,8
Atividades de SI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Elaboração própria.

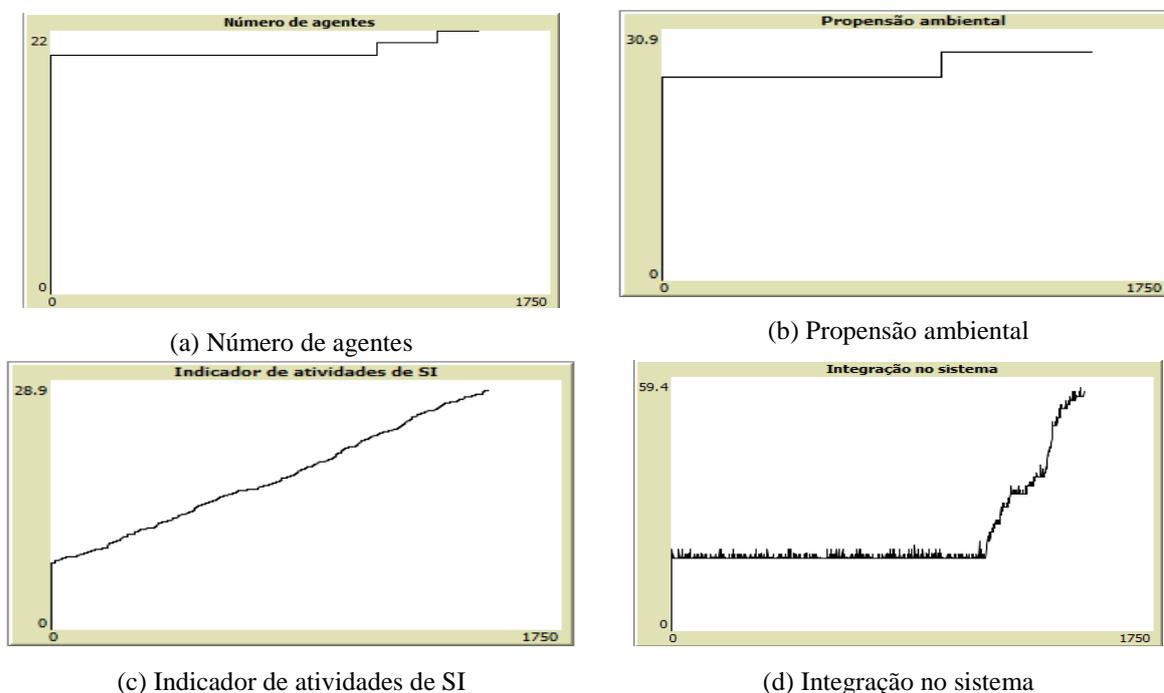
Em relação aos elementos da propensão ambiental: foi dada nível dois para a participação de redes financeiras pois é possível receber apoio e incentivos para projetos desde que tenha alta taxa de sucesso e retorno; nível zero para custos, pois estes são vistos como o

mais importante nos resultados e estratégia da empresa; nível um para redes de pesquisa que apoiam alguns projetos ambientais esporádicos e com chances de retorno; nível um para a influência da sociedade e para a influência da demanda, pois ambas se preocupam com o meio ambiente, porém não exigem eco-eficiência ou desenvolvimento de economia circular; nível um para capacidade institucional, por entender que as empresas que compõem o sistema possuem pouca capacidade institucional para desenvolver SI e obter tal nível de confiança e estratégia conjunta; e por fim, nível dois para o estado que possui leis e normas ambientais, fornece alguns apoios, porém não é efetivo no cumprimento e em incentivos financeiros.

A capacidade das novas empresas foi definida como 4.000 toneladas de processamento de resíduos por dia.

O número de agentes neste cenário chegou em 22, ou seja, criaram-se duas empresas em média (considerando mais simulações), como apresentado na Figura 60(a). A propensão ambiental começou em 24,9% e terminou em 28,5% (Figura 60(b)) com o aumento das atividades de SI, que aumentaram de 8% para aproximadamente 28% (Figura 60(c)). A integração chegou em aproximadamente 58 ligações (Figura 60(d)) e a taxa de projetos de sucesso atingiu 26% (Figura 60(e)).

Figura 60 - Medidas da simulação para o cenário 3



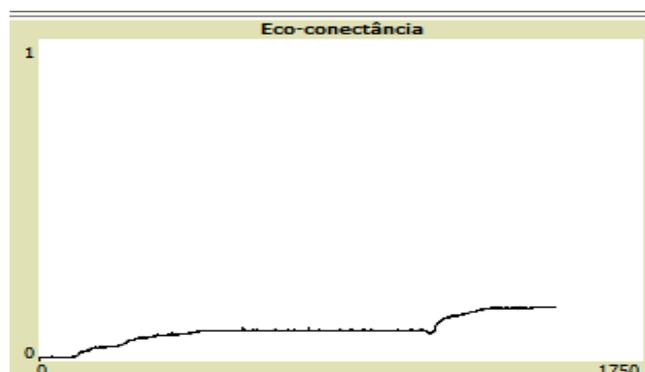


(e) Taxa de projetos de sucesso

Fonte: Elaboração própria.

O número de possíveis projetos de sucesso foi de 20 e o de fracassados ficou em 57. A quantidade estimada de reuniões foi de 144 e de acordo com a Figura 61, a eco-conectância atingiu 16,7%.

Figura 61 - Eco-conectância do cenário 3

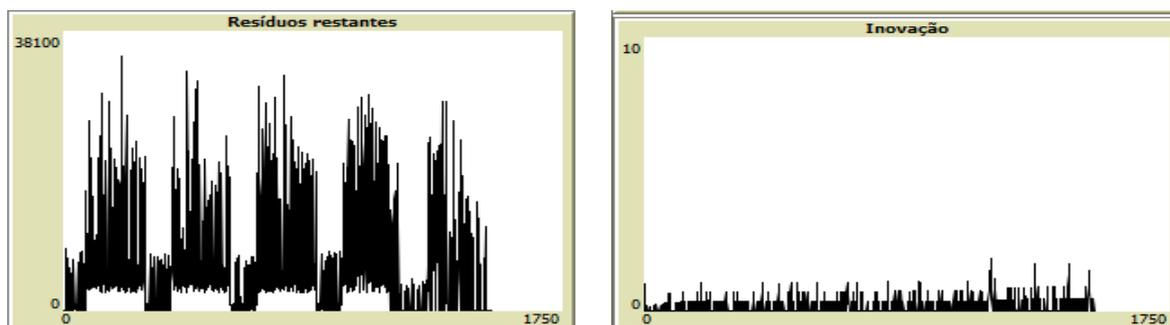


Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos resíduos, obtiveram-se 24,4 milhões de toneladas de resíduos descartados e 11,8 milhões de toneladas de resíduos colocados como disponíveis para reuso. Os resíduos restantes do sistema, conforme Figura 62(a), apresentaram diminuição no último ano, com a criação das empresas reaproveitadoras. Constata-se a diminuição da média de resíduos restantes conforme o decorrer da simulação, o crescimento da propensão ambiental (por causa do aumento das atividades de SI realizadas pelo sistema) e a criação de novas empresas para aproveitamento destes resíduos.

A inovação ambiental chegou ao valor de 3, porém sua média foi aproximadamente o valor de 0,5, pois com a propensão ambiental baixa, a probabilidade de inovação ambiental é pequena, como ilustrado na Figura 62(b).

Figura 62 - Quantidade de resíduos restantes e inovação do cenário 3



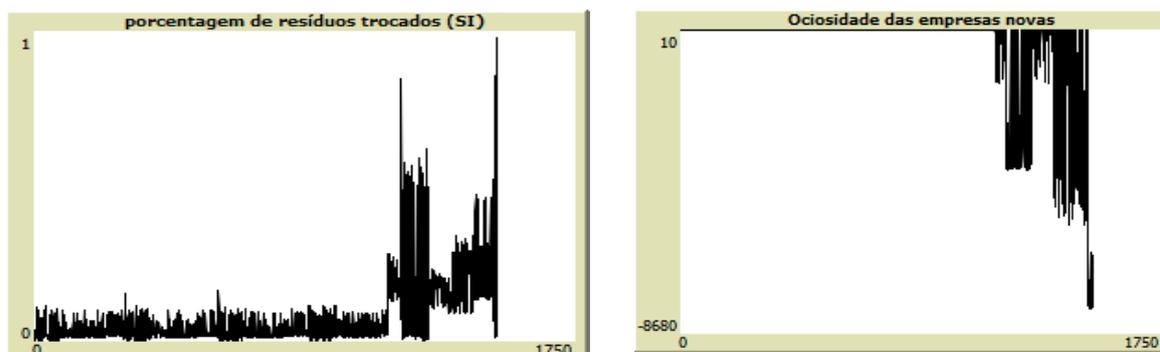
(a) Resíduos restantes

(b) Inovação

Fonte: Elaboração própria.

A porcentagem de resíduos trocados apresentou uma forte variação, ficando entre 0% a 96% (dependendo da época de safra e entressafra), com média em 30%, conforme Figura 63(a).

Figura 63 - Porcentagem de resíduos trocados e ociosidade no cenário 3



(a) Porcentagem de resíduos trocados

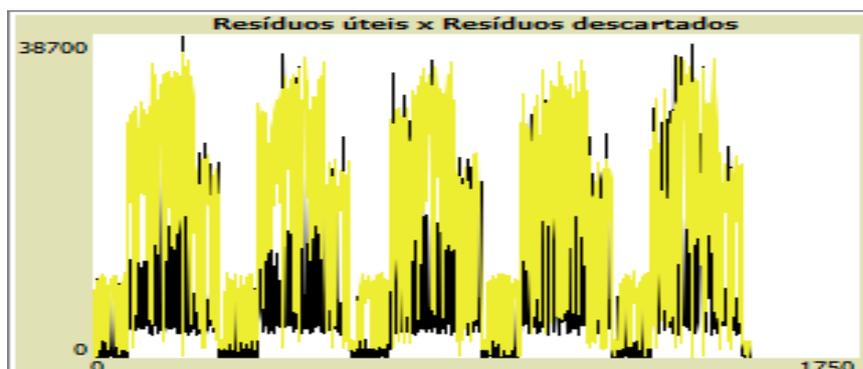
(b) Ociosidade das empresas novas

Fonte: Elaboração própria.

A ociosidade das novas empresas chegou a média de 13.000 toneladas com as quatro empresas novas atuando no sistema (de acordo com a Figura 63(b)). Apesar da variação de ganho ou custo com resíduos, o cenário apresentou média de 250.000 de perdas, com o custo e o ganho por tonelada de resíduos a 50 unidades monetárias, porém conforme o aumento da propensão ambiental houve dias de ganho com resíduos úteis reutilizados. Como o sistema é aleatório, e a propensão ambiental pequena, alguns dias podem ocorrer eventos de uso de resíduos a mais do que de descarte, causando possíveis ganhos econômicos maiores do que os custos com descarte, representando eventos esporádicos de reuso de resíduos.

Em relação aos resíduos úteis e descartados, a maior parte foi dos resíduos descartados, conforme a Figura 64.

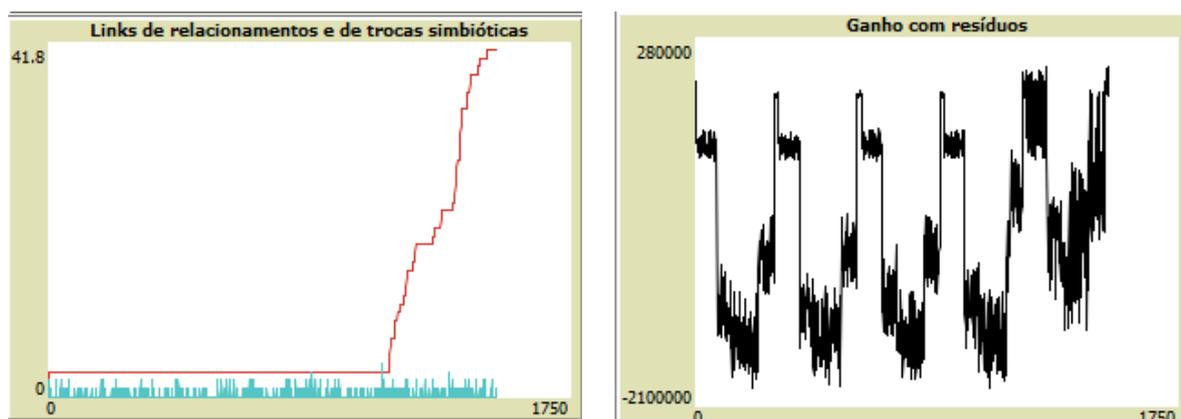
Figura 64 - Quantidade de resíduos úteis e descartados no cenário 3



Fonte: Elaboração própria.

A quantidade de ligações de trocas simbióticas ficou em aproximadamente 42, com aumento expressivo após a criação das novas empresas, e as ligações de relacionamentos variaram de 0 a 3 ligações (Figura 65(a)).

Figura 65 - Ligações de relacionamentos e trocas simbióticas e ganho ou perda com resíduos no cenário 3



(a) Ligações de relacionamentos e trocas simbióticas

(b) Ganhos (+) ou perdas (-) com resíduos

Fonte: Elaboração própria.

Os custos ultrapassam os ganhos na Figura 65(b) devido à propensão ambiental ser baixa em 28%, e pelo fato de os custos e ganhos terem o mesmo valor, pois quanto maior o ganho por tonelada e menor o custo de descarte por tonelada, melhor o resultado.

Deve-se ressaltar que o *software* Netlogo detém de aleatoriedade na tomada de decisão dos agentes, o que faz com que os resultados sejam um pouco diferentes em cada vez em que é realizada a simulação. A Tabela 2 a seguir apresenta a variação dos dados da simulação para melhor entendimento.

Nota-se que a quantidade de trocas simbióticas depende diretamente do número de novas empresas, e por isso varia conforme seu número, sendo de aproximadamente 66 ligações de trocas simbióticas para 3 empresas, 91 para 4 e 104 para 5.

Tabela 2 - Dados de 10 simulações do mesmo cenário (3)

Variáveis	Simulações										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Propensão ambiental (%)	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1
Ociosidade (Ton)	12.000	8.000	7.700	5.500	7.400	16.000	16.000	11.500	12.000	11.200	10730
Quantidade de Links de trocas simbióticas	66	84	62	85	45	91	104	66	86	91	78
Quantidade de Links de relacionamentos	5	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3,5
Ganho(+) ou custo(-) com resíduos (R\$)	-400.000	-600.000	-650.000	-550.000	-720.000	-320.000	-350.000	-550.000	-450.000	-440.000	-503.000
Eco-conectância (%)	13,1	14,7	12,3	14,8	9,3	16,4	17,3	12,7	15,2	16,2	14,2
Índice de Integração	80,2	98	75,8	99	57,4	104,5	119	81	100,5	104,8	92,02
Atividades de SI realizadas (%)	29	26,6	26,8	27	25,6	28,7	25,3	27,6	26,6	26,8	27
Quantidade de novos agentes	3	4	3	4	2	4	5	3	4	4	3,6
Quantidade de resíduos descartados (Milhões de Ton)	23,3	24,4	24,5	24,4	24,4	24,5	24,6	24,2	23,9	24	24,22
Quantidade de resíduos disponíveis (Milhões de Ton)	12,1	11,8	11,6	11,8	11,8	11,7	11,5	11,9	12,3	12	11,85
Taxa de projetos de sucesso	27	27,5	27,7	26,4	24,6	26,1	26	26,8	24	24,5	26,06

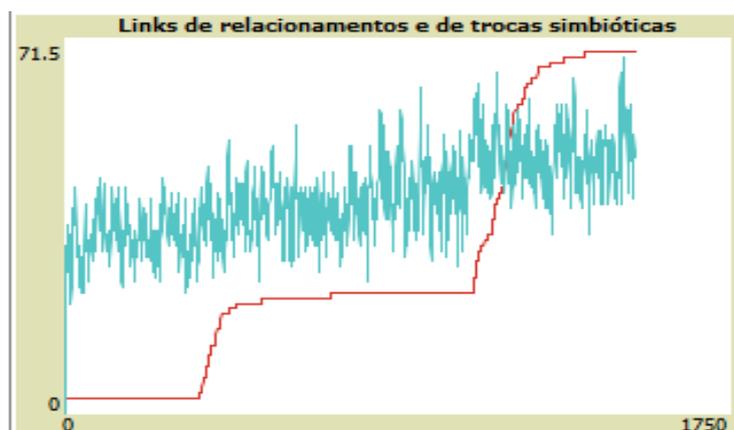
Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.4. Análise do cenário real para melhorias possíveis

Neste ponto realiza-se as atividades de avaliação do novo sistema, conforme sequência no grupo 3 do fluxograma central desta tese para desenvolvimento da SI.

O primeiro ponto a ser analisado é a inclusão de um coordenador no sistema e dos demais agentes sociais, como a presença atuante do mercado para contribuições positivas ao meio ambiente, do estado e das instituições de pesquisa. A Figura 66 mostra o novo comportamento da quantidade de relacionamentos no sistema, aumentando da média de 3 para a média de 54.

Figura 66 - Quantidade de ligações com a inclusão do coordenador



Fonte: Elaboração própria.

Para absorver a variação do modelo computacional no *Software* Netlogo, foram simuladas cinco rodadas com a inserção dos agentes sociais no sistema, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de cinco simulações do mesmo cenário

Variáveis	Simulações					Média
	1	2	3	4	5	
Propensão ambiental (%)	46,2	44	44,5	42,3	44,5	44,3
Quantidade de reuniões	377	322	359	352	310	344
Quantidade de Links de relacionamentos	50	52	50	54	49	51
Quantidade de Multas	75	73	75	75	75	74,6
Eco-conectância (%)	19,1	21,1	21,4	26,5	22,3	22,08
Índice de Integração	138	155	157,3	213	161,3	164,92
Atividades de SI realizadas (%)	100	100	100	100	100	100
Quantidade de novos agentes	3	4	4	6	4	4,2
Taxa de projetos de sucesso (%)	37,3	36,4	34,1	34,2	36	35,6

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que com a inserção dos agentes sociais e mantendo-se os dados iniciais, a propensão ambiental aumenta de 28,1% para 44,3% (aumento de 57%) e a eco-conectância saiu de 14,2% para 22,1% (aumento de 55,6%), o número de reuniões é praticamente duplicado, e as ligações de relacionamentos crescem acentuadamente, assim como a integração e os novos agentes criados, que agora permeiam de 4 a 6 empresas.

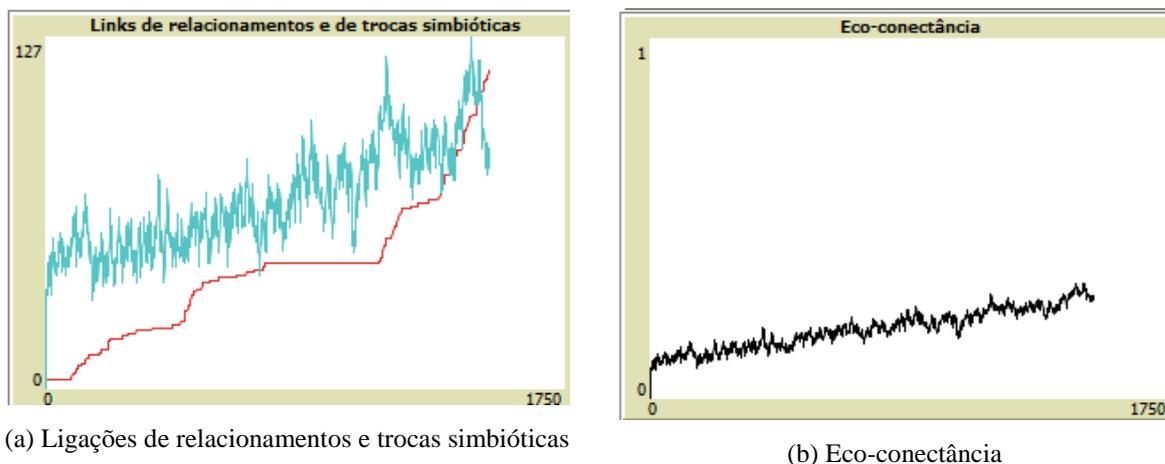
Com a presença de um coordenador, as atividades importantes de SI são realizadas, incentivadas, geridas e até mesmo cobradas, conseqüentemente, o sistema atinge 100% das atividades sendo realizadas no 1.300º dia, aproximadamente em cada simulação.

O estado estando presente, existe a aplicação de multas que gira em torno de 75 em cinco anos.

Um ponto interessante na simulação é que a variável tempo para criação de empresas, quando baixa, fornece flexibilidade para o sistema construir novas empresas quando há qualquer alteração na quantidade de resíduos restantes. Esta situação é boa para utilizar os resíduos, porém acarreta em maior ociosidade destas empresas em período de entressafra. Colocando esta variável com o valor de 30 dias, por exemplo, aumenta-se o número de novas empresas para a média de 7.

A variável potência dos relacionamentos representa a força das ligações de relacionamento, ou seja, quanto maior este número, maior será a duração das ligações deste tipo e menos ligações serão deletadas no decorrer da simulação. A Figura 67 mostra o comportamento do sistema com a variável potência dos relacionamentos como 10 conforme os dados do cenário 3 (real).

Figura 67 - Ligações e Eco-conectância com potência dos relacionamentos no máximo.



Fonte: Elaboração própria.

Com o valor máximo da potência dos relacionamentos, a eco-conectância sobe para 28,6%, com mais ligações no sistema, e as ligações de relacionamentos para a média de 91, com picos de 127 no 1.352º dia.

Com relação à capacidade das novas empresas, quanto maior a capacidade, menor será o número de novas empresas, portanto, quanto menor a capacidade, maior o número de empresas. Por exemplo, com a capacidade de 15.000 toneladas por dia são criadas uma ou duas empresas novas, enquanto que com a capacidade de 1.000 toneladas por dia são criadas de sete a dez empresas. Outro ponto em relação à capacidade é a ociosidade e a quantidade de resíduos restantes, onde o melhor resultado da capacidade fornece a menor ociosidade e a menor quantidade de resíduos restantes, conforme Tabela 4 simulada no cenário 3. Ressalta-se foram colocadas as médias de resultados de cada simulação para cada capacidade.

Tabela 4 - Relação entre a capacidade das novas empresas, resíduos restantes e ociosidade

Capacidade (ton)	Resíduos restantes (mil ton)	Ociosidade (mil ton)
500	25,2	5,4
1.000	24,5	7,2
1.500	22,3	6,1
2.000	20,8	8,4
2.500	19,7	11,4
3.000	18,2	12,7
3.500	17,5	17,1
4.000	16,6	17,6
4.500	15,3	17,8
5.000	14,1	9,0
5.500	14,3	8,6
6.000	15,1	16,2
6.500	16,0	11,1
7.000	14,9	17,2
7.500	19,9	12,3
8.000	18,4	14,1
8.500	17,0	11,7
9.000	16,7	15,8
9.500	15,1	17,5

<b>Capacidade (ton)</b>	<b>Resíduos restantes (mil ton)</b>	<b>Ociosidade (mil ton)</b>
<b>10.000</b>	12,6	19,3
<b>11.000</b>	12,1	20,0
<b>13.000</b>	10,4	25,5
<b>15.000</b>	10,1	27,1

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 traz que a melhor capacidade de processamento de resíduos das novas empresas para este cenário é de 5.500, obtendo a menor quantidade de resíduos restantes e de ociosidade. Estes dados foram obtidos para o tempo entre criação de empresas de 120 dias, portanto para a capacidade de 500 toneladas obtém-se a menor ociosidade, porém a quantidade de resíduo restante é muito alta, devido à demora na criação de novas empresas. Para a capacidade de 15.000 toneladas, tem-se a menor quantidade de resíduos restantes de 10.100 toneladas, porém a ociosidade é a maior em 27.000 toneladas, mostrando que se cria as empresas na safra e como estas são muito grandes, ficam ociosas na entressafra.

Portanto, para obter as melhorias para o cenário é necessário realizar as seguintes sugestões:

- a) Ter a presença de um coordenador, e dos demais agentes sociais (mercado consumidor, estado e instituições de pesquisa);
- b) O tempo entre criação de empresas seja o menor possível (dando mais flexibilidade ao sistema);
- c) A potência dos relacionamentos seja o mais próximo possível de 10, definindo as ligações de relacionamentos como mais duradouras e frequentes;
- d) Que a capacidade das empresas seja um número coerente ao sistema, para não gerar ociosidade e nem deixar resíduos restantes sem reutilização e ter o maior número de ligações de relacionamentos e trocas simbióticas possíveis, sendo seu ideal a flexibilidade máxima para criação de empresas e a menor capacidade possível para criação de mais ligações de relacionamentos e trocas simbióticas, aumentando a eco-conectância;
- e) Cada nova empresa deverá ter uma estratégia para alterar suas operações nos períodos de ociosidade.

#### 4.2.5. Especificidades do sistema industrial analisado

Como apresentado por Araújo (2013) e Batalha e Silva (2007) o setor agroindustrial possui algumas especificidades importantes a serem consideradas no desenvolvimento de um sistema simbiótico. Estas foram identificadas no modelo criado e influenciaram nos resultados da simulação.

O primeiro ponto é a perecibilidade dos produtos e matérias-primas, onde estes devem ser reutilizados em um curto espaço de tempo. No modelo computacional considerou-se a escala de tempo de um dia para transferência dos resíduos e produtos.

O segundo ponto são os altos volumes de processamento, onde fica evidente a quantidade de toneladas que passam por transformação diariamente, como no caso da usina sucroalcooleira que processa cerca de 2 milhões de toneladas de cana por ano.

O terceiro ponto é a sazonalidade da matéria-prima, onde os produtores rurais realizam o plantio e colheita em datas específicas por ano e apenas uma vez para cada tipo de cultura. Este fato acarreta em altos estoques de matéria-prima para empresas sequentes na cadeia produtiva e a geração de resíduos de palhada em momentos e quantidades específicos.

O quarto ponto é a sazonalidade da produção dos produtores rurais e pecuaristas, que estão suscetíveis a diversos fatores que alteram sua produtividade. O modelo prevê um possível aumento ou diminuição na quantidade de matéria-prima, porém o setor pode apresentar quedas bruscas na produtividade, com alterações climáticas expressivas, ou alimentação inadequada, por exemplo.

O último ponto é a característica dos resíduos de fabricação das empresas deste setor de serem considerados como biomassa, e serem majoritariamente utilizados simplesmente como adubo para o solo.

#### 4.2.6. Sinergias potenciais para os resíduos descartados no cenário atual

O modelo traz a criação de empresas para reaproveitar os resíduos gerados pelo sistema. Estas empresas serão criadas conforme as especificações e características de cada resíduo. Neste caso, conforme os resíduos coletados na cidade de Dourados-MS propõem-se algumas alternativas de empresas para contribuir no sistema.

O primeiro tipo de resíduo a ser considerado no estudo é a palhada gerada na colheita das culturas de cana, soja, milho, trigo e arroz. No sistema atual, os produtores rurais não realizam cálculos para obter a quantidade ideal de palhada a ser deixada no campo, deixando todo o resíduo como adubo e proteção ao solo.

A literatura apresenta alguns dados sobre a quantidade de palhada para uma boa cobertura de solo, a qual está entre 4,4 t/ha para Cruz et al (2001), 5 t/ha segundo Machado et al (1998) e 6 t/ha conforme Alvarenga et al (2001). Especificamente para a cana-de-açúcar o mínimo é de 7 t/ha de acordo com UNICA (2017) e o máximo de 50% de toda palhada gerada para Leal et al (2016). Vale ressaltar a variabilidade encontrada dos dados, sendo estes impactados pelo clima, planta, solo, região, declive, entre outros.

Na pecuária, os principais resíduos encontrados foram os dejetos bovinos e suínos, a cama de frango e os animais mortos (em forma de compostagem) durante a criação. A melhor forma de utilização destes resíduos são a adubação do solo e produção de biogás. Para adubação do solo, Konzen e Alvarenga (2004) falam do uso de 50 a 100 m<sup>3</sup> para resíduos dos suínos, 5 toneladas de cama de frango e 50 m<sup>3</sup> para resíduos dos bovinos por hectare. Campos et al (2017) falam em um pouco menos para cama de frango, sendo 3,75 t/ha, já a Avila, Mazzuco e Figueiredo (1992) confirma os números citados, colocando como ideal valores entre 3 a 6 t/ha. Dartora, Perdomo e Tumelero (1998) estão dentro da faixa de Konzen e Alvarenga (2004) pois falam em 60 m<sup>3</sup> por ano de resíduos de suínos, já Oliveira (2001) está um pouco abaixo com 40 m<sup>3</sup>. Baungratz et al (2013), Pereira et al (2018) e Kunz e Oliveira (2006) defendem o uso de dejetos na produção de biogás, como forma mais eficiente de uso destes itens, no que tange a geração de valor e capital, considerando ainda que o ganho em produtividade dos grãos é baixo se comparado a geração de gás.

Um último resíduo das granjas de frango é o de ovos descartados, onde Glatz, Miao e Rodda (2011) atentam para sua utilização como proteína em fertilizantes ou na alimentação animal, ou ainda concordando com Steinmetz et al (2014) falam no uso para produção de biogás, com a geração de 104 m<sup>3</sup> por tonelada.

Resíduos da usina a ser analisados para possíveis utilizações mais eficientes são a vinhaça, a palhada e a torta. A primeira pode ser usada no campo, na aplicação de 100 a 300 m<sup>3</sup> por hectare ou na produção de biogás, com uma conversão de cada 1 m<sup>3</sup> de vinhaça para 7 a 15 Nm<sup>3</sup> de biogás (corresponde em 17 a 37 kW de energia elétrica) (ELIA NETO, 2016; CRUZ; SILVIUS; VOGELAAR, 2016; PENTEADO et al, 2018). A palhada pode gerar bioenergia, podendo chegar a 500 kWh (UNICA, 2011) e a torta pode ser utilizada como adubo, sendo recomendado a utilização de 70 t/ha segundo Fravet (2010), 30 a 60t/ha conforme Nardin (2007), para Rossetto e Santiago (2007) 80 a 100 se torta úmida, 15 a 35 t/ha se sulco e 40 a 60 t/ha se aplicada na estrelinha das soqueiras. Para Frick (2018) e Canaonline (2018) a torta também pode ser usada na produção de biogás, onde 9.000 toneladas de torta e 100 milhões de litros de vinhaça geram 1 MW de energia, conforme instalação fabril nova da empresa Raízen.

Os resíduos dos processadores de carne são utilizados na produção de farinha de origem animal conforme viabilidade mostrada por Bellaver (2002) e utilizados na alimentação de animais monogástricos, sendo a farinha de penas de 2 a 5%, a de sangue 6% e a de vísceras ou carnes em 15%. Um resíduo que pode ser aproveitado para produção de queratina é o pelo de porco, assim como as penas de frangos abatidos (IPPC, 2005). Para Moore et al (2005) a queratina é retirada na proporção de 90% do peso inicial das penas de frango, e esta pode ainda

ser utilizada para produção de biofilmes. Santos et al (2018) e Feroldi et al (2014) defendem a possibilidade de produção de biogás utilizando resíduos de abatedouros, sendo esta viável economicamente à médio e longo prazo, onde o primeiro artigo apresenta a geração de 70 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de resíduos de abatedouros e o segundo divide em 45 m<sup>3</sup> por tonelada de resíduos de bovinos, 60 m<sup>3</sup> por tonelada de resíduo de suíno e 80 m<sup>3</sup> por tonelada de resíduo de frango.

Silva et al (2012) e Nodari (1997) discorrem sobre a utilização de casca de arroz para produção de energia, com valor aproximado de 0,23 kWh por quilo de casca.

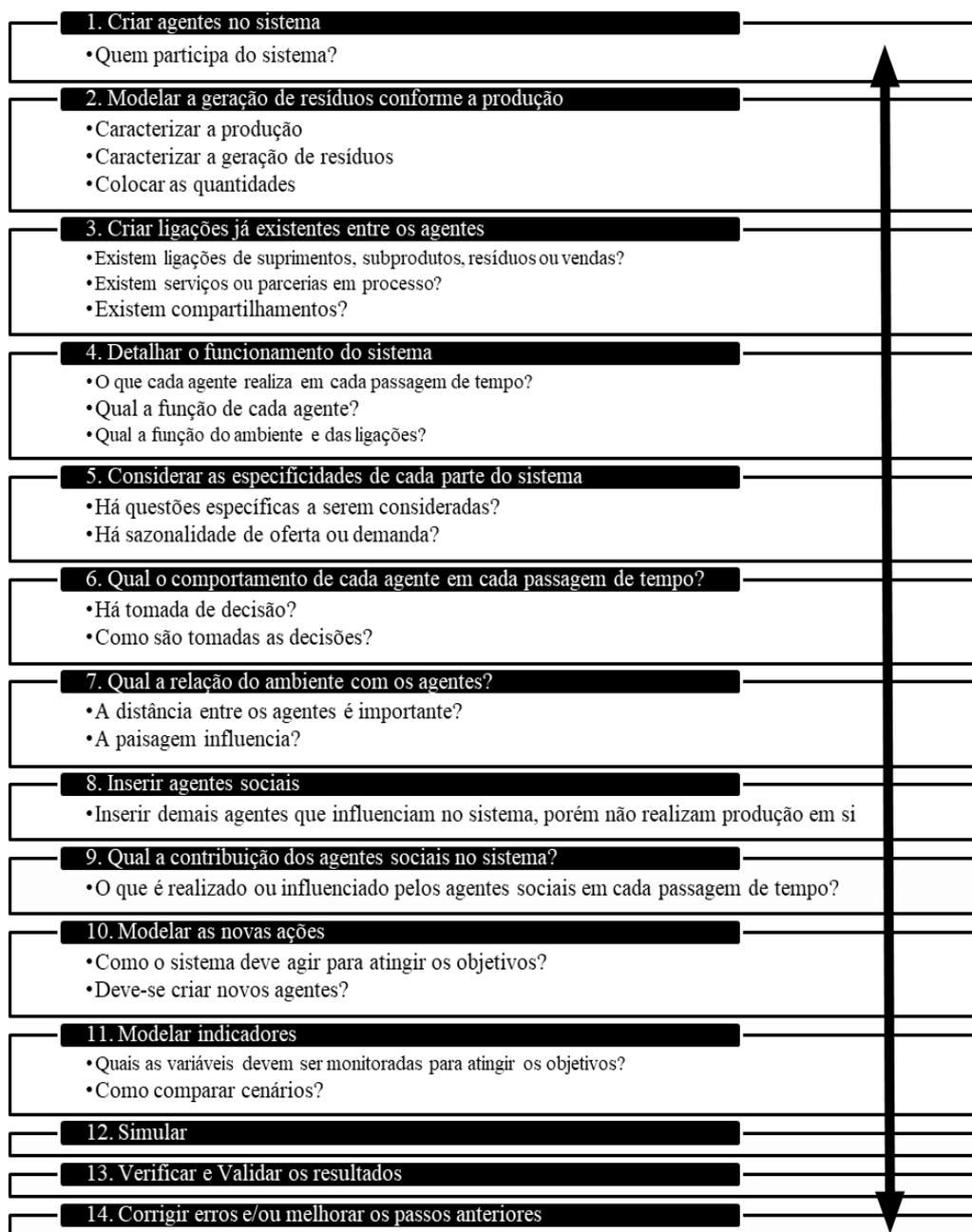
Um resíduo muito aparente e que é descartado por todos os agentes são as cinzas. Foram encontradas duas oportunidades de uso na literatura, como adubo no campo e na fabricação de argamassas ou massas cerâmicas. Cacuro e Waldman (2015), Arruda et al (2016) e Osaka e Darolt (1991) falam em aplicar 20 t/ha em florestas e hortas para ajudar no crescimento das plantas e Campanharo et al (2008) falam na aplicação de 5 t/ha para correção do pH do solo, porém esta alternativa possui uma complexidade logística. Sales e Lima (2010) pesquisaram a aplicação de 20 a 30% de cinzas de bagaço na construção civil e para cinzas de biomassa Reis e Manfroi (2016) falam em adicionar 5% para produção de argamassas. Já para massas cerâmicas Fredericci et al (2012) adicionam 5 a 20% com moagem das cinzas para evitar pedaços grandes, e Medeiros et al (2010) aplicam 25% de cinzas de biomassa.

Por fim, os resíduos de papel, papelão, plástico e sucata de metal devem ser reciclados por uma recicladora central que processe esses materiais em novos produtos passíveis de venda no mercado.

### **4.3. Roteiro para o modelo de simulação**

A partir de um conjunto de conhecimentos e reflexões realizados durante a construção do modelo de simulação, obtém-se o seguinte roteiro com as etapas e sequência consideradas importantes, como mostrado na Figura 68. Este roteiro pode auxiliar no desenvolvimento de um modelo computacional para desenvolvimento de SI em um *software* de simulação baseado em agente, neste caso, conforme o Netlogo. Tem-se, portanto, a sequência de etapas que devem ocorrer para atingir um modelo satisfatório e as perguntas que devem ser respondidas em cada.

Figura 68 - Roteiro para construção do modelo computacional



Fonte: Elaboração própria.

O roteiro possui formato de fluxograma e etapas sequenciais, porém a seta situada na parte direita representa que todas as etapas do modelo computacional devem ser testadas e corrigidas os eventuais erros, voltando nas etapas anteriores que apresentaram as falhas ou não consideraram fatos e características importantes.

O modelo computacional possibilita melhorias e alterações para incrementar seu código conforme outros dados, restrições e situações que possam ocorrer em determinados sistemas a serem analisados em outras pesquisas.

## Capítulo 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1. Considerações finais sobre a compreensão do sistema para modelagem e simulação

Através da simulação dos três cenários apresentados foi contruída a Tabela 5 comparando os resultados obtidos. Como o *software* apresenta aleatoriedade, os dados apresentados são médios para dez simulações para cada cenário, para o período de cinco anos.

Tabela 5 - Comparação dos resultados cenários simulados

Medidas	Cenário 1 (Melhor)	Cenário 2 (Pior)	Cenário 3 (Real)
Número de agentes [un]	28	21	24
Propensão ambiental [%]	100	0	24,9
Indicador de atividades de SI [%]	100	4,6	28
Inovação [pontos]	2.960	0	3
Taxa de projetos de sucesso [%]	100	0	26
Eco-conectância [%]	94	0	16,7
Integração [ligações]	960	17	105
Resíduos reutilizados [ton]	36.000.000	3.400.000	11.900.000
Resíduos descartados [ton]	0	32.800.000	24.400.000
Resíduos restantes [ton]	0	3.500	12.800
Empresas criadas [un]	8	1	4
Porcentagem de resíduos trocados máxima [%]	100	11	86 (média de 30)
Lucro obtido com resíduos [unidades monetárias]	1.100.000	-1.500.000	-950.000
Ociosidade máxima [ton]	34.000	0	13.000
Ligações de relacionamentos [un]	827	0	3
Ligações de trocas simbióticas [un]	106	3	42
Reuniões [un]	1.500	98	144
Projetos ambientais [un]	2.500	0	0
Multas [un]	0	82	0*

\*não há participação do estado.

Fonte: Elaboração própria.

Como a propensão ambiental deve estar em 100% para se ter o melhor cenário possível, nota-se que o caso analisado possui o valor de 24,9%, o qual demonstra que este precisa melhorar suas ações em 75% para atingir o melhor nível de desenvolvimento e eficiência ambiental.

As atividades de SI assumem um valor de 4,6 no pior cenário, pois algumas destas atividades são realizadas mesmo sem o desenvolvimento da SI, como por exemplo a busca pela redução da poluição ou de rejeitos e a comunicação com os *stakeholders*. No caso apresentado o valor foi de 28, onde se percebe a necessidade de realizar mais atividades para aumentar a propensão ambiental e favorecer a própria SI no sistema.

O melhor cenário explicita a possibilidade de realização de projetos ambientais de sucesso em 100%, contra 26% no caso real (aproximadamente um projeto aprovado em cada quatro possíveis) e zero no pior caso.

A eco-conectância atinge 94% no melhor caso, com a maioria das ligações para relacionamentos ou trocas simbióticas, o que ocorre bem menos no cenário real, com o valor de apenas 16,7% das ligações para contribuições positivas ao meio ambiente. Conseqüentemente a integração está em apenas 105 ligações ambientais, porém pode atingir patamares de 960 destas.

No cenário 1 tem-se a reutilização de todos os resíduos gerados pelo sistema com ganhos aproximados de 1.100.000 unidades monetárias (utilizando o ganho por reuso e custo de descarte por tonelada com o mesmo valor). No cenário 2 as perdas podem chegar a 1,5 milhão de unidades monetárias com o descarte de 32,8 milhões de toneladas de resíduos em cinco anos. O cenário 3 traz um descarte de 24,4 milhões de toneladas de resíduos, com perdas de 950.000 unidades monetárias, o que evidencia a relevância da aplicação e desenvolvimento da SI neste sistema.

O número de empresas criadas aumenta conforme a geração de resíduos considerados pela propensão ambiental dos agentes como disponíveis para uso, proporcionalmente tem-se a ociosidade aumentando também por conta do período de entressafra.

As trocas simbióticas e os relacionamentos podem aumentar drasticamente com o desenvolvimento da SI e aumento da propensão ambiental, como mostra a Tabela 5. No melhor cenário tem-se praticamente 1.000 relações para melhorar e intensificar a busca por um meio ambiente com menos poluição e por um sistema circular.

O sistema próximo ao cenário um realiza diversas reuniões, praticamente uma por dia entre os diferentes agentes do sistema, aumentando a integração dos membros, a confiança entre eles, a possibilidade de realização de novos projetos e inovações para o bem comum, do ambiente e da sociedade influenciada pelo sistema em análise.

Onde se tem a participação do estado nota-se a probabilidade maior de multas pelo alto volume de geração de resíduos para descarte.

No cenário da propensão ambiental a 100%, aqui considerado como o melhor para o objetivo de desenvolver a SI e contribuir positivamente ao meio ambiente, as medidas atingem valores satisfatórios para esta estratégia, com ganhos a partir de resíduos reutilizados, criação de novas empresas e conseqüente geração de empregos, realização de projetos ambientais e busca de inovação para eliminar a poluição, integração dos agentes como grupo para resolução de problemas e tomada de decisão conjunta para atender as metas com melhorias ecológicas.

O modelo baseia-se na variável propensão ambiental, portanto quanto maior seu valor, melhor serão os resultados e contribuições ambientais para o sistema. Espera-se que os pontos discutidos a seguir sejam estabelecidos para melhorar o desenvolvimento da SI.

Deve-se haver a participação efetiva do estado, de forma que ele priorize o desenvolvimento e favorecimento de políticas e estratégias para contribuições ambientais, com leis e normas que contemplem todos os possíveis impactos de cada tipo de indústrias, com cobrança eficiente, incentivos atrativos e benefícios que compensem os eventuais custos.

Espera-se a participação de redes financeiras com valorização e concessão de crédito para todos os projetos ambientais, focando em todas as possíveis ações de melhorias para o meio ambiente.

Necessita-se da influência da sociedade, de modo que a comunidade exija dos agentes próximos que contribuam efetivamente para o meio ambiente da região, para melhor qualidade de vida de seus funcionários e pessoas próximas.

Precisa-se da influência do mercado, onde os clientes aproveitem os poderes de compra que possuem e optem por produtos de empresas que contribuam efetivamente para o meio ambiente e desenvolvam conceitos como a SI ou economia circular.

O apoio de redes de pesquisa é muito importante, para que os agentes tenham sempre projetos com as instituições de pesquisa, para buscar inovações, não importando os resultados ou custo, focando nas contribuições e confiança para auxílio mútuo.

No quesito custo, o foco deve ser prioritariamente nas contribuições ambientais e desenvolvimento de estratégias e ações para isso. De forma que o custo seja desprezado pelos resultados de sucesso obtidos com tais ações, e suas contribuições estejam sempre em evidência e foco.

A capacidade institucional levantada por Spekkink (2015) é essencial para a evolução e eficiência da SI em um sistema. Este elemento considera a confiança entre os agentes, que devem trabalhar de forma integrada para alcançar melhores resultados para a sociedade. Com isso, deve-se focar em estratégias de visão compartilhada, com líderes engajados para resolução de problemas ambientais, com desejos, crenças e oportunidades que satisfaçam as necessidades do meio ambiente, da qualidade de vida da população e do planeta em si.

As atividades de SI encontradas na literatura devem ser realizadas em sua totalidade para conquistar compartilhamentos, trocas simbióticas, relacionamentos de confiança, evolução e adaptação conjunta, com melhoria contínua.

A ociosidade das empresas criadas deve ser preenchida com outras oportunidades, tais como o uso de outros resíduos, a troca no tipo de produto produzido no período de falta de um

dado resíduo, a realização de estocagem do resíduo quando possibilitado por suas características, e trabalhar de forma intensa nos períodos de oferta do resíduo e parar para manutenção na época de falta, como ocorre nas usinas sucroalcooleiras.

Como a capacidade de processamento de cada empresa é padrão conforme os dados de entrada e no sistema real a capacidade pode ser diferente, necessita-se alterar o código do modelo para incluir os novos agentes com capacidade específica, segundo a necessidade de cada sistema industrial. Tal alteração é obtida com a duplicação do código de criação de novas empresas no submodelo trocas-resíduos, porém com capacidades diferentes.

A presença de um coordenador é essencial, como colocado por WANG; DEUTZ; CHEN, (2017) e Menato et al (2017). Uma empresa ou instituição que possa gerenciar a estratégia global do sistema, realizar reuniões, metas e perspectivas para contribuições ambientais, unir agentes e ser o elo de ligação para o sistema, que sozinhos acabam optando por resolver seus próprios problemas individuais. Cabe ao coordenador construir um eco-centro para eventos e reuniões, trazer a sociedade para os eventos, mostrando que desenvolver SI entre outros conceitos ambientais é altamente benéfico, trazer a demanda dos clientes para os agentes que estão efetivamente contribuindo para o meio ambiente e buscar mais agentes para o sistema.

Como observado nos cenários simulados, a presença do coordenador aumenta significativamente o número de ligações de relacionamentos entre os agentes, e a integração geral do sistema. Desta maneira a tomada de decisão torna-se conjunta e estratégia condiz com as metas de cada agente e com a meta global do sistema, como discutido por Mannino et al (2015) e Boons et al (2017).

Um ponto importante a ser considerado na presença do coordenador é sua gestão para a realização dos transportes necessários para os resíduos de sua unidade geradora até a unidade de processamento. Entende-se que a empresa processadora arcará com os custos para posterior venda ao mercado consumidor, porém, com o coordenador é possível ratear os custos e lucros com os resíduos e compartilhamentos com todos os membros do sistema, para favorecer um crescimento integrado.

O caso analisado possui a especificidade de ser majoritariamente agroindustrial, o que traz consigo principalmente resíduos com características de biomassa, que não agridem de forma expressiva o meio ambiente, pois podem servir como adubo em quantidades limitadas, porém estes possuem reutilizações mais efetivas e com maiores ganhos aos agentes.

Este sistema possui um agente que sobressai aos demais por seu alto volume de produção de resíduos, a usina sucroalcooleira, principalmente com o bagaço de cana e vinhaça. O bagaço produz energia e é visto como um elemento essencial a este agente, contudo a vinhaça

possui um volume enorme e faz com que o novo sistema (com o desenvolvimento da SI) tenha que construir empresas para processar seu alto volume em época de safra, o que acarreta em ociosidade destas empresas na entressafra. O custo desta ociosidade não foi estipulado, porém este deve ser abatido pelo ganho obtido com este resíduo na safra e com outros produtos que possam ser processados na mesma empresa, como por exemplo, o uso de biorefinarias e empresas de biogás que podem utilizar a vinhaça e outros resíduos de biomassa.

Uma forma de aumentar o desempenho ambiental em um sistema ocorre através do uso de biorefinarias, pois estas aumentam a viabilidade econômica, utilizam resíduos como matéria prima, aumentam a taxa de reaproveitamento, participam ativamente no desenvolvimento de um sistema com ciclo simbiótico fechado, o que pode ser confirmado na pesquisa de Vardanega, Prado e Meireles (2015).

A usina pode ser considerada um agente âncora segundo as pesquisas de Sun et al (2017), pois seus resíduos são os mais volumosos, o que lhe dá um poder na tomada de decisão. Torna-se mais fácil para este agente, que influencia na geração de resíduos, criar sinergias, facilitar a interação entre o sistema, estimular a participação dos demais, agregar empresas ao seu entorno, fornecer suporte para novas pesquisas e produção de conhecimento, ajudar na gestão da SI, ser líder para as decisões mais importantes e no estabelecimento de metas e auxiliar efetivamente na construção e compartilhamento de infraestrutura.

Considera-se que a usina faria o mesmo papel de um coordenador, mas com protagonismo para si, com agregação de agentes ao seu entorno, e como principal ator na tomada de decisão e definições de estratégias.

Além da usina, nota-se a possibilidade de divisão em módulos neste sistema analisado, onde cada módulo pode ter certa independência na gestão, metas próprias e reuniões específicas. Cada módulo possui liberdade para agir conforme sua realidade, suas necessidades e sua complexidade, porém sempre alinhados à estratégia global do sistema, focando na integração entre os módulos para cumprir os objetivos de cada um e do sistema como um todo.

Cada módulo deve agir com suas características próprias, porém respeitando a integração e estratégia global com os demais módulos. Neste ponto retoma-se a o conceito apresentado por DELAURENTIS; AYYALASOMAYAJULA, 2009 e Morin (2005) de que as partes são maiores que o sistema, quando se considera sua complexidade e metas próprias, seus desejos e influência para o resultado do sistema em decorrência de suas entregas, e o sistema é maior que a soma das partes, por integrar todas as entregas dos módulos e obter resultados e conclusões complexas para a estratégia global, considerando frutos obtidos justamente pelas ligações entre os módulos.

A divisão em módulo encerraria o grupo 3 do fluxograma central desta tese para desenvolvimento da SI, fechando o projeto da SI e suas funções e detalhamentos, com a avaliação do novo contexto, e partindo também para a facilitação do grupo 4 do fluxograma onde ocorrem a implementação e melhoria contínua.

A Figura 69 explica como seria a gestão por módulos no caso apresentado, onde os agentes devem ser divididos em módulos para melhorar a gestão e a definição de metas, com foco em melhorar os oito elementos da propensão ambiental.

Pode-se identificar os oitos elementos presentes na Figura 69, sendo cinco deles presentes no entorno do sistema, onde estes influenciam o sistema como um todo e o desenvolvimento da SI. Estes elementos são o estado, os clientes, as redes financeiras, a sociedade e as instituições de pesquisas, que são os atores sociais que contribuem diretamente para a eficiência deste sistema. Dentro do círculo (representando o sistema) estão dois elementos fundamentais para o desenvolvimento da SI, a capacidade institucional e as atividades da SI, que são realizadas pelos agentes do sistema, de forma evolutiva e contínua. Estes dois elementos são os que movem o sistema, ou seja, transformam os agentes ao longo do tempo para uma visão de contribuição ao meio ambiente e de estratégia compartilhada para obtenção e benefícios mútuos. Por fim, no centro está o elemento custo, este que é considerado chave para a transformação dos agentes e para o desenvolvimento da SI. O custo é enxergado como elemento mais importante, já que os agentes são cobrados por resultados monetários, porém, ao longo da evolução da SI, este deve ser enxergado como um indicador econômico do sistema, e ser considerado em segundo plano, depois dos benefícios ambientais e sociais conquistados.

Como pode ser visto na Figura 69, a divisão para o caso analisado foi realizada em três módulos:

- a) Módulo 1: considera os produtores rurais e os pecuaristas, pois possuem sua empresa situada em sítios e fazendas, possuem como maiores recursos o uso de água e terra. Os produtores são dependentes do ambiente, do clima, da sazonalidade do plantio e colheita. Os pecuaristas também dependem da terra e água e criam os animais em locais e com condições adequadas, respeitando o tempo de desenvolvimento de cada animal e sua alimentação;
- b) Módulo 2: situam-se as cinco empresas que utilizam de matéria-prima originária dos produtores rurais, transformando-as em outros produtos com maior valor agregado;

- c) Módulo 3: encontram-se as empresas dependentes dos pecuaristas (abatedouros) e a farinha que reutiliza resíduos de abate deste módulo para fabricação de farinha de origem animal a ser utilizada na produção de ração animal.

Os três módulos estão integrados no modelo, sempre envoltos aos elementos da propensão ambiental e buscando o melhor desempenho possível.

No grupo 4 do fluxograma, deve-se ressaltar a visão de cada participante do projeto em si, onde cada agente tem suas especificidades e desejos, enxerga e espera do desenvolvimento da SI situações únicas para cada visão. Portanto, cada agente deve ter sua opinião e visão compreendida e inteirada de todos os acontecimentos do sistema, para de fato, estabelecer um regime novo de visão compartilhada para os novos objetivos de contribuições ambientais e sociais.

## **5.2. Considerações finais da pesquisa**

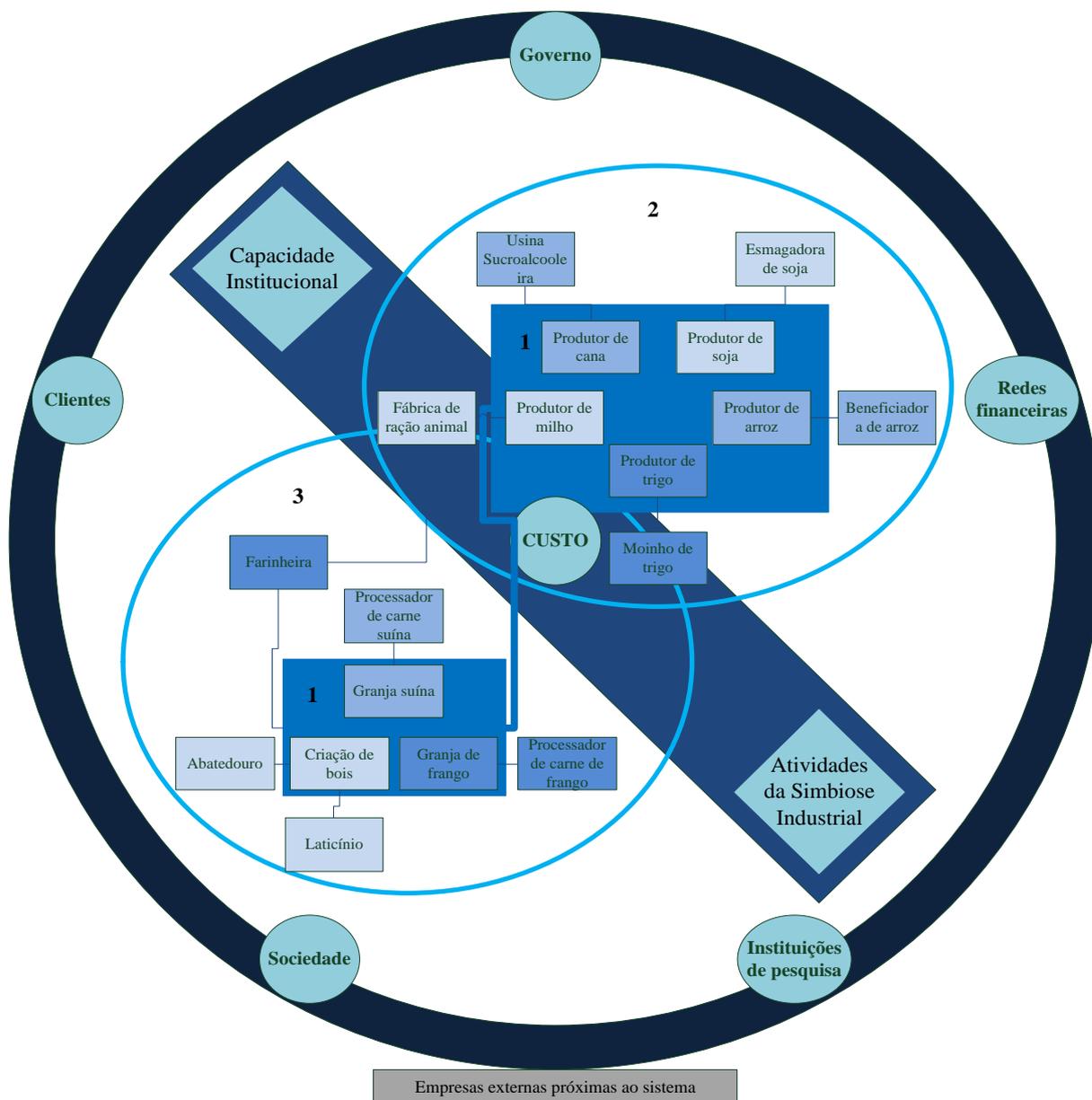
A SI desenvolve ações benéficas ao meio ambiente em sistema industriais, com a realização de trocas simbióticas de resíduos entre empresas membros do sistema. Com isso, a SI traz a redução do uso de matéria-prima virgem e do descarte de materiais na natureza, por meio da aplicação de sinergias onde ocorrem a utilização eficiente dos recursos no próprio sistema, atuando de forma cíclica (busca por descarte zero) (CHERTOW; PARK, 2016; DE ABREU; CEGLIA, 2018).

Para seu correto planejamento faz-se necessário a utilização da ciência do projeto para obtenção de estruturação e organização coerente do sistema. A ciência do projeto torna explícito a forma do sistema, seus agentes, as funções de cada um e global do sistema, os objetivos e estratégias, as restrições e características específicas de cada agente e do sistema como um todo (PUGH, 1990; LANGE et al, 2017).

Para cada aplicação do método para desenvolver a SI, a literatura pesquisada não apresentou uma forma de análise, ou simplesmente uma forma de comparação de resultados para a melhor tomada de decisão na etapa de planejamento. Visto que as decisões do presente somente ocorrerão no futuro e trarão suas consequências, a simulação é ideal para mostrar, por meio de cenários, as possíveis situações futuras, influenciando positivamente na tomada de decisão. E como o sistema industrial é complexo e formada por agentes, deve-se considerar a SBA como melhor alternativa para modelagem e simulação (ROMERO; RUIZ, 2014; MANTESE; AMARAL, 2016). Por fim, nota-se a necessidade de incorporar questões de ordem

social, como motivação e desejo de cada agente, além da participação do estado, universidades, redes financeiras e consumidores.

Figura 69 - Sistema com elementos da propensão ambiental e divisão em módulos



Fonte: Elaboração própria.

Esta tese trabalhou nesta lacuna de pesquisa, o desenvolvimento da SI em um sistema industrial, com os conceitos de Chertow (2000; 2004; 2007), com a estruturação conforme a ciência do projeto (LANGE et al, 2017), e validação com a aplicação de SBA (conforme Romero e Ruiz (2014) e Batten (2009)) para definição da estratégia e tomada de decisão, com a inclusão de aspectos sociais, discutidos em Boons, Spekkink e Jiao (2014), EEA (2017) e Spekkink (2015).

Foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática sobre a SI, tema central desta tese, para compreender suas características principais e identificar os métodos existentes para seu desenvolvimento. Dos 17 métodos encontrados, foram retiradas nove etapas comuns e unidas em um *framework* geral para projeto de SI.

Para complementar o *framework* obtido pela SI, foram apresentadas teorias de ciência do projeto relacionadas a característica processual definida por Wynn e Clarkson (2018), as quais envolvem as melhores práticas de projeto para situações reais. Foi identificado um *framework* central nesta teoria também, com oito etapas gerais, considerando a influência do ambiente externo e as diferentes visões dos participantes do projeto.

Os dois *frameworks* foram colocados juntos como forma de utilização conjunta para atingir o objetivo de desenvolver a SI. Para sua aplicação foram definidos quatro módulos que possuem uma parte de cada *framework* para ser elaborado. Aliado a isto, a literatura fornece cerca de 35 atividades de que devem ser realizadas para obter eficiência e sucesso da SI no sistema industrial.

A partir do objetivo definido para este trabalho, a SI foi desenvolvida conforme características e atividades encontradas na literatura, com estrutura e organização baseada na ciência de projeto. Fez-se um modelo computacional para validar o sistema com o desenvolvimento de SI projetado por meio do fluxograma da Figura 32, considerando a importância na tomada de decisão de ponderar a propensão ambiental e seus elementos sociais de capacidade institucional ou de agentes influenciadores. Onde possibilitou-se a definição de cenários para comparação das medidas ambientais, como eco-conectância ou integração, conforme as condições de entrada.

O modelo considera principalmente dois aspectos característicos de um sistema com SI, os fluxos de materiais (físico) e o aspecto social (relacionamentos), de modo a entender como a geração de resíduos ocorre em um dado caso específico (agroindústrias em Dourados-MS) e como o relacionamento entre os membros impactaria dos cenários futuros.

A simulação mostrou que o sistema deve ser flexível para a criação de novas empresas, deve realizar ligações de relacionamento entre os agentes de forma duradoura, além de buscar o apoio do estado, mercado consumidor, redes financeiras e instituições de pesquisa na estratégia de desenvolvimento da SI.

Três pontos cruciais merecem destaque, primeiramente a presença de um coordenador que melhore a gestão do sistema e procure integrar, cobrar, reunir, avaliar, favorecer confiança, firmar contratos, buscar inovação e chamar novos membros. Um exemplo é ficar a cargo do coordenador orientar os agentes no desenvolvimento eficiente da SI no sistema. Este agente

dito social possui como função a integração do sistema e a promoção da evolução constante da SI e o aumento dos impactos positivos ao meio ambiente. A visão é ser o gestor de todas as atividades do sistema para cumprimento da estratégia definida e distribuição dos ganhos pretendidos.

Em segundo, encontrar alternativas para a ociosidade presente nas empresas criadas para processar os resíduos disponíveis em época de entressafra de grãos ou da usina sucroalcooleira, com um *mix* de produto diversificado ou com uma gestão de estoque eficiente.

Em terceiro, deve-se identificar o agente de destaque do sistema, neste caso é a usina sucroalcooleira que produz volumes altos de resíduos, porém apenas em época de colheita de cana de açúcar. Este agente (composto por uma ou mais usinas) deve ter papel de destaque para cumprir as metas de desenvolvimento da SI.

Para desenvolver a SI, considerando os agentes sociais que participam e influenciam na tomada de decisão, e verificando seus possíveis cenários com a SBA foi definida a variável propensão ambiental, esta que representa os elementos que influenciam diretamente na tomada de decisão dos agentes para favorecer a SI ou não. Os elementos são: o custo para implantar projetos de SI em relação às despesas cotidianas ou custo de oportunidade; as políticas públicas impostas pelo estado, que podem obrigar ou incentivar a realizar contribuições ao meio ambiente; a influência da sociedade para demandar a redução de poluição por parte das empresas; a influência dos consumidores em comprar apenas produtos de empresas ambientalmente responsáveis; o apoio de redes financeiras para financiamento de projetos e inovações ambientais; o apoio de instituições de pesquisa para novas oportunidades de melhorias para o meio ambiente; a capacidade institucional, com a confiança entre os agentes e mobilização para atingir os objetivos ambientais; e a realização do máximo possível de atividades da SI.

### **5.3. Conclusões acerca das questões de pesquisa**

#### **5.3.1. Como a estrutura de projeto contribui para o desenvolvimento da SI em um sistema agroindustrial na cidade de Dourados-MS?**

A ciência do projeto trouxe consigo a sequência de atividades necessárias para o correto projeto da SI em um sistema, os modelos que analisam uma situação real para busca de melhorias foram analisados, concluindo com um fluxograma a ser utilizado no cumprimento do objetivo desta pesquisa. Portanto, trouxe a compreensão geral do sistema e possibilitou identificar os elementos, partes e funções, bem como a relação entre os recursos físicos, como a geração de resíduos e a tomada de decisão a partir de elementos de ordem social e subjetiva

dos agentes, como a capacidade institucional e o apoio de instituições de pesquisa, redes financeiras e estado.

O fluxograma trouxe a análise minuciosa do problema, neste caso como desenvolver a SI em um sistema agroindustrial na cidade de Dourados-MS. Foi a partir desta teoria que foi possível identificar as partes da pesquisa de cunho teórico, prático, descritivo e prescritivo, ou seja, em que momento foi necessário buscar conceitos na teoria ou modelos já existentes e quando foi preciso procurar por dados práticos no caso. Um ponto relevante foi a forma de enxergar a existência de visões diferentes para cada agente no mesmo projeto como em Bucciarelli (2002, 2003), e a influência do ambiente e das informações em cada etapa.

Esta teoria organizou a pesquisa para compreender todos os agentes, suas características, especificidades, como a questão da palhada de soja apenas na safra, os resíduos, como a geração de cama de frango a cada dois ou três lotes de aves, e o ambiente, considerando agentes ditos sociais, como o estado, as universidades, a sociedade e o mercado. Por fim, possibilitou identificar a relação existente entre os agentes através de suas funções, como por exemplo, o grupo da pecuária, dos abatedores, processadores de carne e fabricantes de ração animal, e da usina com os produtores de cana.

### 5.3.2. Qual a contribuição da SBA para a análise da SI em um sistema agroindustrial?

A SBA ajuda a entender as operações que ocorrem no sistema industrial, facilitando o desenvolvimento da SI. O modelo computacional criado nesta pesquisa traz a análise da geração de resíduos, as ligações existentes e a especificidade dos agentes, tal como as sazonalidades de oferta e demanda.

A SBA simula a tomada de decisão de cada agente pertencente ao sistema de reutilizar ou descartar seus resíduos, assim como ocorre no sistema real. Esta decisão baseia-se na propensão ambiental do sistema, ou seja, com o quanto o sistema está disposto a optar por ações ambientalmente responsáveis que irão contribuir efetivamente para o meio ambiente e a sociedade.

A SBA possibilita desenvolver cenários conforme os dados coletados e consegue mostrar quais as mudanças que devem ser realizadas para que o sistema tenha um cenário ótimo, conforme as medidas de desempenho estabelecidas para comparação. Esta permite colocar todas as variáveis e parâmetros identificados no sistema real e alterá-las de forma a entender sua relação e impacto no sistema como um todo. Como ocorreu com a criação de novas

empresas para uso de resíduos na época de safra e a consequente ociosidade destes na entressafra.

Compreendeu-se a influência do mercado consumidor, do estado e instituições de pesquisa, bem como de um coordenador auxiliando na gestão e nas ligações de relacionamento entre os agentes. Foi possível identificar o papel do coordenador, onde este potencializa a criação de relacionamentos, de trocas simbióticas e da integração como um todo.

Permitiu-se comparar cenários com maior ou menor propensão ambiental, com mais resíduos sendo aproveitados externamente ou no próprio sistema e com variação da produção alta ou baixa. Além de colocar relacionamentos duradouros ou não, flexibilidade para criar empresas ou não, alterando o comportamento dos agentes em cada cenário, indicando a melhor tomada de decisão para o sistema real.

Os resultados da simulação trazem principalmente um caminho a ser seguido para desenvolver a SI a partir dos dados atuais, apresentou-se quantas empresas são necessárias para processar os resíduos disponíveis, quantos relacionamentos podem ser criados e o possível lucro a ser obtido com as mudanças, ou seja, os prováveis benefícios econômicos e ambientais para o sistema.

Caso um sistema industrial opte por realizar a SI, este pode enxergar no modelo as possíveis decisões a serem tomadas, a aplicabilidade de um coordenador, a melhoria nos resultados em caso de participação e apoio do estado, das redes financeiras, das instituições de pesquisa, da sociedade e do próprio mercado consumidor.

### 5.3.3. Qual a provável influência do contexto social no desenvolvimento da SI em um sistema agroindustrial e como considera-lo na SBA?

No decorrer da pesquisa, mais precisamente na compreensão do sistema industrial e seus elementos, observou-se que os agentes não tomam decisão baseados simplesmente na geração de resíduos e na possibilidade de troca simbiótica. Spekkink (2015), Boons, Spekkink e Jiao (2014) e Boons, Spekkink e Mouzakitits (2011) são os principais autores que trouxeram a perspectiva de que o desenvolvimento da SI depende de maneira acentuada da capacidade institucional dos agentes (mobilização, relações e conhecimento integrado), e Geels (2002) e EEA (2017) trazem a participação do estado, instituições de pesquisa, redes financeiras, sociedade e consumidores para mudanças em um sistema, em um regime já definido e implantado.

Esses fatores, tidos nesta pesquisa como sociais por envolver agentes sociais tomadores de decisão, influenciam diretamente no desenvolvimento e sucesso da SI. Os agentes interpretam oito elementos na tomada de decisão, os seis citados anteriormente e mais as atividades importantes para a SI e o fator chave custo.

Um agente, por mais que possa optar por trocas simbióticas para obter ganhos econômicos, pode preferir o descarte em aterros por falta de planejamento ou pela facilidade da ação. O sistema, como pode ser notado na simulação, opta pelo descarte e não criação de novas empresas, pois não vê o novo cenário como prioridade ou benéfico. Uma melhoria ambiental pode ser vista como custosa, quando o foco dos agentes está nos resultados econômicos e não em contribuições ambientais ao ambiente e a sociedade.

Para considerar o este contexto dito social na SBA, esta pesquisa apresenta a variável propensão ambiental que traz os oito elementos de forma integrada para tomada de decisão e mostra a diferença em resultados ambientais, de um cenário com esta variável sendo baixa ou alta.

Mudanças para melhorias ambientais precisam de apoio do estado, de redes financeiras e da sociedade, da influência dos consumidores, instituições de pesquisa, de uma visão irrelevante para custos, de capacidade institucional alta e da realização de todas as atividades de SI. Sem esses pontos, qualquer alteração no regime atual, leva a outras prioridades, como custo e produtividade apenas.

Nesta pesquisa o contexto social é importante para influenciar os agentes a estabelecer relacionamentos e trocas simbióticas, considerando que os resíduos são majoritariamente do tipo de biomassa, onde estes são basicamente descartados no solo. Para um cenário com a SI eficiente, os agentes sociais devem buscar estratégias para que as empresas utilizem biorefinarias e usinas de biogás, por exemplo, para obtenção de novo produto com valor agregado e ambientalmente responsável.

#### **5.4. Conclusões acerca do problema de pesquisa**

O desenvolvimento da SI a partir do fluxograma construído nesta tese e sua análise com a aplicação de SBA possibilita cenários e caminhos para que os sistemas industriais possam planejar suas decisões e estratégias a fim de focar nas questões de contribuição ambiental também. A aplicação da PNRS (2010) é amplamente discutida e auxiliada nesta pesquisa, onde os resíduos possuem o foco de reutilização com a criação de novas empresas e aumento da propensão ambiental (onde inclui-se aspectos e agentes sociais).

A análise da SI nesta pesquisa possibilita a transformação de sistemas em economias circulares, minimamente com o que tange o fluxo de materiais e de resíduos, como descrito em EEA (2017).

Como visto na simulação dos cenários, quando se utiliza todo o potencial da SI, os ganhos são visíveis através de lucro com vendas de resíduos ou substituição de matéria-prima, inovação, integração, eco-conectância no sistema e principalmente com a circularidade dos resíduos, assim como descrito nas pesquisas de Chertow (2000; 2007). A integração traz a diminuição da distância mental e a geração de confiança, com mais relacionamentos entre os agentes para a conquistas de resultados mais expressivos perante a economia e sociedade, como observado por Branson (2016) e Boons e Spekkink (2012).

A eco-conectância e a medida de ganhos com a reutilização dos resíduos trazem o que é esperado por Golev, Corder e Giurco (2014) no desenvolvimento e evolução da SI. As demais medidas e a própria propensão ambiental retratam os fatores cruciais da SI relatados em Teh et al (2014) e Menato et al (2017).

A questão social da SI abordada na propensão ambiental considera conceitos discutidos em Spekkink (2016), Wang, Deutz e Chen (2017) e Ceglia, De Abreu e da Silva Filho (2017), estes que retratam a tomada de decisão dos agentes e a participação na estratégia ambiental, desde que conjunta a todos os membros e respeitando as especificidades e metas próprias. O foco da SI é justamente o aumento da força dos agentes para buscar novos caminhos de contribuição ambiental e social considerando questões econômicas de menor custo e máximo lucro.

A análise da SI em um sistema industrial com uso da SBA necessita da visão apresentada em Santos e Magrini (2018) de curto, médio e longo prazo. As decisões e planejamentos devem considerar medidas de reuso com os recursos atuais, posteriormente regionais, para depois sugerir a criação de novas empresas para resultados mais satisfatórios, como pôde ser observado nas simulações. A criação de novas empresas traz o problema da ociosidade e gestão destas no sistema, assim como a relação eficiente de oferta e demanda do resíduo e seu transporte.

A análise de SI trouxe também as perspectivas de Ometto, Ramos e Lombardi (2007) de uso eficiente de resíduos gerados no sistema, com conseqüente geração de energia, adubação e alimentação de animais, como estruturado pelos autores em um sistema agroindustrial e seguido nesta pesquisa, por usar do mesmo setor de aplicação como caso.

Além da análise fluxo de materiais e de ligações possíveis discutida por Aid et al (2015) e Ohnishi et al (2017), com geração de cenários possíveis e de considerar os agentes e suas questões sociais (como crenças, motivações, desejos, expectativas, etc.) discutidos por Boons,

Spekkink e Jiao (2014) e Spekkink (2016). Nota-se a relevância nos resultados da SI com a as questões sociais focadas para este fim, com possíveis ganhos econômicos, sociais e ambientais, além de capacidades que possam surgir com a integração, confiança e cooperação de todos os agentes.

A SBA foi de fato um método satisfatório para a análise da SI em um sistema industrial, com os cálculos das medidas, dos resíduos e da tomada de decisão dos agentes com as questões sociais inclusas. Considera-se na SBA a aleatoriedade em que o sistema real está submetido na simulação, para ser considerado no planejamento atual, além da emergência, previsão, sensibilidade e interação existente entre os agentes do sistema com SI, confirmando as afirmações de Yazan et al (2018), Romero e Ruiz (2014), Batten (2009) e Mantese e Amaral (2018).

Por fim, a SI, seu desenvolvimento a partir de questões de ciência do projeto e a análise desta para tomada de decisão e planejamento eficiente das estratégias e na tomada de decisão por meio da SBA prova-se eficaz e possível de ser utilizada. Contribui-se para esta área da literatura juntamente com a pesquisa de Lange et al (2017).

### **5.5. Limitações**

Faz-se necessário realizar mais visitas técnicas a todos os agentes para melhor coleta de dados. Um dado pertinente que não foi possível de ser coletado foi o custo dos resíduos, com isso, o modelo computacional seria capaz de realizar uma análise econômica mais apurada e concreta para a tomada de decisão. A criação de novas empresas dependeria dos custos envolvidos no projeto, dos resíduos e de descarte.

Cada agente poderia ter explicado suas tecnologias para que o trabalho considerasse a estrutura atual e quais delas poderiam ser melhoradas ou compartilhadas com outros agentes. Da mesma forma, não foi possível identificar em cada agente a possibilidade de serviços comuns que pudessem ser compartilhados no sistema.

### **5.6. Trabalhos futuros**

Considera-se a necessidade de incluir os custos envolvidos no sistema atual: custo de descarte, dos resíduos, de transporte, de reutilização, das matérias-primas virgens, do processamento e da realização de relacionamento para projetos ambientais ou inovação. Considerar a viabilidade econômica das novas empresas para auxiliar na tomada de decisão, como alternativas no modelo.

Uma linha de pesquisa é o impacto no desenvolvimento da SI conforme os perfis diferentes que esta possui, como com a presença de um coordenador, de um campeão, de um âncora ou de agentes auto-organizados.

Como possibilidade para continuação da pesquisa espera-se considerar na SBA as novas variáveis que possam surgir ou confirmar aquelas que estão presentes nesta pesquisa em um sistema agroindustrial simbiótico real. Por fim, acrescentar as pequenas e médias empresas e todos os pequenos produtores do sistema para complementação.

## REFERÊNCIAS

- ABIB – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DA BIOMASSA. Inventário residual Brasil. 2011. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/accounts/200968>>.
- ABREU, V. M. N.; DE ABREU, P. G. Planejamento de aviários para criação de frangos de corte. Embrapa Suínos e Aves-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2000.
- AID, G., BRANDT, N., LYSENKOVA, M., & SMEDBERG, N. Looplocal—a heuristic visualization tool to support the strategic facilitation of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, 98, 328-335, 2015.
- ALBINO, V.; FRACCASCIA, L.; GIANNOCCARO, I. Exploring the role of contracts to support the emergence of self-organized industrial symbiosis networks: an agent-based simulation study. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 4353-4366, 2016.
- ALBINO, V.; FRACCASCIA, L.; SAVINO, T. Industrial Symbiosis for a Sustainable City: Technical, Economical and Organizational Issues. *Procedia Engineering*, v. 118, p. 950-957, 2015.
- ALCARDE, A. R. Processamento da cana-de-açúcar: outros produtos. Brasília: Agência de informação da EMBRAPA, 2009.
- ALFARO, J., & MILLER, S. Applying industrial symbiosis to smallholder farms: Modeling a case study in Liberia, West Africa. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 145-154, 2014.
- ALI, A. K.; WANG, Y.; ALVARADO, J. L. Facilitating industrial symbiosis to achieve circular economy using value-added by design: A case study in transforming the automobile industry sheet metal waste-flow into Voronoi facade systems. *Journal of Cleaner Production*, 2019.
- ALLENBY, B. R. Implementing industrial ecology: the AT&T matrix system. *Interfaces* v.30, p.42-54, 2000.
- ALVARENGA, R.C; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura do solo para sistema plantio direto. *Informe Agropecuário, Embrapa Milho e Sorgo, Belo Horizonte*, v.22, n,208, p.25-36, 2001.
- ALVES, A. M. Proposta de uma estrutura de medição para qualidade do SPB-Software Público Brasileiro (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo), 2013.
- ANGELIS-DIMAKIS, A.; ARAMPATZIS, G.; ASSIMACOPOULOS, D. Systemic eco-efficiency assessment of meso-level water use systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 138, p. 195-207, 2016.
- ANH, P. T., DIEU, T. T. M., MOL, A. P., KROEZE, C., & BUSH, S. R. Towards eco-agro industrial clusters in aquatic production: the case of shrimp processing industry in Vietnam. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 17, p. 2107-2118, 2011.
- ARAÚJO, C. S. An investigation of the use of design methods. In: *Proceedings of the 2ND INTERNATIONAL CONGRESS OF INDUSTRIAL ENGINEERING*. 1996.
- ARAÚJO, M. J. Fundamentos de agronegócios. Editora Atlas SA, 2013.
- ARRUDA, J. A.; AZEVEDO, T. A. O.; FREIRE, J. L. O.; BANDEIRA, L. B.; ESTRELA, J. W. M.; SANTOS, S. J. A. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. *Divulgação científica e tecnológica do ifpb - N° 30*. Revista Principia, João Pessoa, 2016.
- ASHTON, W. S.; BAIN, A. C. Assessing the “Short Mental Distance” in Eco-Industrial Networks. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 70-82, 2012.
- ASHTON, W. Understanding the organization of industrial ecosystems: A social network approach. *Journal of Industrial Ecology*. v.12(1), p.34–51, 2008.
- ASTUTI, R. S. D.; ASTUTI, A. D.. Preliminary Design of Industrial Symbiosis of Smes Using Material Flow Cost Accounting (MFCA) Method. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 04008.
- AVILA, V. S. de; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P. de. Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante. Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPSA, 1992. 38p.
- BALDASSARRE, B., SCHEPERS, M., BOCKEN, N., CUPPEN, E., KOREVAAR, G., & CALABRETTA, G. Industrial Symbiosis: towards a design process for eco-industrial clusters by integrating Circular Economy and Industrial Ecology perspectives. *Journal of cleaner production*, 216, 446-460, 2019.

- BANSAL, P.; MCKNIGHT, B. Looking forward, pushing back and peering sideways: analyzing the sustainability of industrial symbiosis. *Journal of Supply Chain Management*, v. 45, n. 4, p. 26-37, 2009.
- BARBOSA, P. F.; DA COSTA, M. A. B.; TORRES, I. Modelos de simulação como ferramentas de auxílio à tomada de decisões em sistemas de produção de gado de corte. Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro científico (ALICE), 2002.
- BARUSELLI, M. S. O uso do semiconfinamento como sistema de produção intensivo de bovinos de corte. Tortuga, disponível em: [https://www.dsm.com/products/tortuga/pt\\_BR/homeblog/semiconfinamento\\_como\\_sistema\\_de\\_producao\\_intensivo\\_de\\_bovinos\\_de\\_corte.html](https://www.dsm.com/products/tortuga/pt_BR/homeblog/semiconfinamento_como_sistema_de_producao_intensivo_de_bovinos_de_corte.html), 2017. Acesso em: 02 de Abril de 2019.
- BAR-YAM, Y. *Dynamics of complex systems. Readings*, Massachusetts: Addison-Wesley, 1997
- BATALHA, M. O. (Coord.) *Gestão Agroindustrial*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 2v. v.1
- BATTEN, D. F. Fostering industrial symbiosis with agent-based simulation and participatory modeling. *Journal of Industrial Ecology*, v. 13, n. 2, p. 197-213, 2009.
- BAUNGRATZ, K. L. F., DE OLIVEIRA, J. B., SLONGO, N., FRIGO, E. P., & ZANON, E. Produção de biogás a partir de biomassa residual. *Acta Iguazu*, 2(3), 30-39, 2013.
- BÉGUIN, P.; WEILL-FASSINA, A. Das Simulações das Situações de Trabalho à Situação de Simulação. In: DUARTE, F. (Ed.). *Ergonomia e Projeto: na indústria de processo contínuo*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ; Editora Lucerna, 2002. 34-63 p
- BEHERA, S. K.; KIM, J. H.; LEE, S. Y.; SUH, S.; PARK, H. S. Evolution of ‘designed’ industrial symbiosis networks in the Ulsan Eco-industrial Park: ‘research and development into business’ as the enabling framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 29, p. 103-112, 2012.
- BELLANTUONO, N., CARBONARA, N., & PONTRANDOLFO, P. The organization of eco-industrial parks and their sustainable practices. *Journal of cleaner production*, 161, 362-375, 2017.
- BELLAVER, C. Ingredientes de origem animal destinados à fabricação de rações. In: *Simpósio sobre Ingredientes na Alimentação Animal*. Campinas-SP p.167-190. 18 a 20 de Abril de 2001.
- BELLAVER, C. Resíduos industriais (farinhas, óleos e sebos), onde colocá-los frente às restrições de mercado. *Seminário Internacional Da Industrialização Da Carne*, v. 4, 2002.
- BERENDS, P.; ROMME, G. Simulation as a research tool in management studies. *European Management Journal*, v. 17, n. 6, p. 576-583, 1999.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 22, n.2, 2002, pp.241-264.
- BIOLCHINI, J., MIAN, P. G., NATALI, A. C. C., & TRAVASSOS, G. H. Systematic review in software engineering. *System Engineering and Computer Science Department COPPE/UFRJ, Technical Report ES, 679(05), 45, 2005.*
- BLASI, D. A.; TITGEMEYER, E. C.; DROUILLARD, J. S.; PAISLEY, S. I.; BROUK, M. J. Soybean hulls, composition and feeding value for beef and dairy cattle. Kansas State: University Agricultural Experimental Station and Cooperative Extension Service, Bull. MF-2438, 2000.
- BLASI, D. A.; TITGEMEYER, E. C.; DROUILLARD, J. S.; PAISLEY, S. I.; BROUK, M. J. Soybean hulls, composition and feeding value for beef and dairy cattle. Kansas State: University Agricultural Experimental Station and Cooperative Extension Service, Bull. MF-2438, 2000. 16 p.
- BOONS, F., CHERTOW, M., PARK, J., SPEKKINK, W., & SHI, H. Industrial symbiosis dynamics and the problem of equivalence: Proposal for a comparative framework. *Journal of Industrial Ecology*, 21(4), 938-952, 2017.
- BOONS, F., SPEKKINK, W., & MOUZAKITIS, Y. The dynamics of industrial symbiosis: a proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review. *Journal of Cleaner Production*, 19(9-10), 905-911, 2011.
- BOONS, F.; SPEKKINK, W. Levels of institutional capacity and actor expectations about industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 61-69, 2012.
- BOONS, F.; SPEKKINK, W.; JIAO, W. A process perspective on industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 18, n. 3, p. 341-355, 2014.

- BOTS, Pieter WG. Design in socio-technical system development: three angles in a common framework. *Journal of Design Research*, v. 5, n. 3, p. 382-396, 2007.
- BRANSON, R. Re-constructing Kalundborg: the reality of bilateral symbiosis and other insights. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 4344-4352, 2016.
- BRASIL. Lei Federal no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2 ago. 2010a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pecuária de baixa emissão de carbono: Tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de bovinos de corte e leite em sistemas confinados / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de mobilidade social, do produtor rural e do cooperativismo.-Brasília: MAPA, 2018.
- BRYMAN, Alan. *Research methods and organization studies*. Routledge, 2003.
- BUCCIARELLI, Louis L. Between thought and object in engineering design. *Design studies*, v. 23, n. 3, p. 219-231, 2002.
- BUCCIARELLI, Louis L. Designing and learning: a disjunction in contexts. *Design Studies*, v. 24, n. 3, p. 295-311, 2003.
- CACURO, T. A., & WALDMAN, W. R. Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades. *Revista Virtual de Química*, 7(6), 2154-2165, 2015.
- CAMPANHARO, M. et al. Utilização de cinza de madeira como corretivo de solo. *Fertibio, Campos dos Goytacazes Anais*, 2008.
- CAMPOS, S. A., PAULA LANA, R., GALVÃO, J. C. C., SOUZA, M. N., TAVARES, V. B., & COELHO, S. P. Efeito do esterco de galinha poedeira na produção de milho e qualidade da silagem. *Ceres*, 64(3), 2017.
- CANAONLINE (2018). Vinhaça e torta de filtro vão virar eletricidade e biometano para bastecer veículos. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/vinhaca-e-torta-de-filtro-vao-virar-eletricidade-e-biometano-para-bastecer-veiculos.html>. Acesso em: 15 de Abril de 2019.
- CARVALHO, F.C. de. Disponibilidade de resíduos agro-industriais e do beneficiamento de produtos agrícolas. In: *Simpósio De Utilização De Subprodutos Agroindustriais e Resíduos de Colheita na Alimentação de Ruminantes*, 1992, São Carlos. Anais... São Carlos : EMBRAPA, 1992. 349 p. P. 7-27.
- CECELJA, F., RAAFAT, T., TROKANAS, N., INNES, S., SMITH, M., YANG, A., ... & KOKOSSIS, A. E-Symbiosis: technology-enabled support for Industrial Symbiosis targeting Small and Medium Enterprises and innovation. *Journal of Cleaner Production*, 98, 2015
- CEGLIA, D.; DE ABREU, M. C. S.; DA SILVA FILHO, J. C. L.. Critical elements for eco-retrofitting a conventional industrial park: Social barriers to be overcome. *Journal of environmental management*, v. 187, p. 375-383, 2017.
- CHA, P. Y. Estratégias de preço na difusão de inovação: simulação baseada em agentes aplicado ao mercado brasileiro de carros elétricos. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- CHANDRA-PUTRA, H., CHEN, J., & ANDREWS, C. J. Eco-evolutionary pathways toward industrial cities. *Journal of Industrial Ecology*, 19(2), 274-284, 2015.
- CHANDRA-PUTRA, Handi; CHEN, Jing; ANDREWS, Clinton J. Eco-evolutionary pathways toward industrial cities. *Journal of Industrial Ecology*, v. 19, n. 2, p. 274-284, 2015.
- CHEN, X.; FUJITA, T.; OHNISHI, S.; FUJII, M.; GENG, Y. The impact of scale, recycling boundary, and type of waste on symbiosis and recycling. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 129-141, 2012.
- CHERTOW, M. R. "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 11, n. 1, p. 11-30, 2007.
- CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis. In: *Encyclopedia of Energy*, edited by C. J. Cleveland. San Diego: Elsevier, 2004.
- CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment*, v. 25, p. 313-337, 2000.
- CHERTOW, M. R.; ASHTON, W. S.; ESPINOSA, J. C. Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally related agglomeration economies. *Regional Studies*, v. 42.10, p. 1299-1312, 2008.

- CHERTOW, M. R.; LOMBARDI, D. R. Quantifying economic and environmental benefits of co-located firms. *Environmental Science & Technology*, v. 39, n. 17, p. 6535-6541, 2005.
- CHERTOW, M.; EHRENFELD, J. Organizing self-organizing systems – toward a theory of industrial symbiosis. *Journal of industrial ecology*, v.16(1), 2012.
- CHERTOW, M.; MIYATA, Y. Assessing collective firm behavior: comparing industrial symbiosis with possible alternatives for individual companies in Oahu, HI. *Business Strategy and the Environment*, v. 20, n. 4, p. 266-280, 2011.
- CHERTOW, M.; PARK, J. Scholarship and practice in industrial symbiosis: 1989–2014. In: *Taking stock of industrial ecology*. Springer, Cham, 2016. p. 87-116.
- CHOPRA, S. S.; KHANNA, V. Understanding resilience in industrial symbiosis networks: Insights from network analysis. *Journal of environmental management*, v. 141, p. 86-94, 2014.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil, 2017. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2019.
- CONFORTO, E. C., AMARAL, D. C., & SILVA, S. D. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. Trabalho apresentado, 2011.
- CORDER, G. D.; GOLEV, A.; GIURCO, D. “Wealth from metal waste”: Translating global knowledge on industrial ecology to metals recycling in Australia. *Minerals Engineering*, v. 76, p. 2-9, 2015.
- COSTA, I.; FERRÃO, P. A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 10, p. 984-992, 2010.
- COSTA JUNIOR, J., DIEHL, J. C. & SECOMANDI, F. Educating for a systems design approach to complex societal problems, *Journal of Engineering Design*, 2018.
- CRUZ, J. C., PEREIRA FILHO, I. A., ALVARENGA, R. C., & SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. *Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2001.
- CRUZ, S.; SILVIUS, M.; VOGELAAR, J. Geração de biogás da vinhaça com um novo tipo de reator anaeróbio, 2016. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/geracao-de-biogas-da-vinhacom-um-novo-tipo-de-reator-anaerobio/>. Acesso em: 27 fev. 2019.
- CUTAIA, L., LUCIANO, A., BARBERIO, G., SBAFFONI, S., MANCUSO, E., SCAGLIARINO, C., & LA MONICA, M. The Experience Of The First Industrial Symbiosis Platform In Italy. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 2015
- CUTAIA, L., SCAGLIARINO, C., MENCHERINI, U., & IACONDINI, A. Industrial symbiosis in Emilia-Romagna region: results from a first application in the agroindustry sector. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 2, 11-36, 2014.
- DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. Manejo de desejo de suínos. *Boletim Informativo. Pesquisa & Extensão. BIPERS. Embrapa Suínos e Aves e EMATER/RS–BIPERS. Ano*, v. 7, 1998.
- DE ABREU, M. C. S.; CEGLIA, D. On the implementation of a circular economy: The role of institutional capacity-building through industrial symbiosis. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 138, p. 99-109, 2018.
- DEAN, C. A.; FATH, B. D.; CHEN, B. Indicators for an expanded business operations model to evaluate eco-smart corporate communities. *Ecological Indicators*, v. 47, p. 137-148, 2014.
- DELAURENTIS, D. A., & AYYALASOMAYAJULA, S. Exploring the synergy between Industrial Ecology and System of Systems to understand complexity: a case study in air transportation. *Journal of Industrial Ecology*, 13(2), 247-263, 2009.
- DEMARTINI, M.; TONELLI, F.; BERTANI, F. Approaching Industrial Symbiosis Through Agent-Based Modeling and System Dynamics. In: *Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*. Springer, Cham, 2018. p. 171-185.
- DOMÉNECH, T.; DAVIES, M. The role of embeddedness in industrial symbiosis networks: phases in the evolution of industrial symbiosis networks. *Business Strategy and the Environment*, v. 20, n. 5, p. 281-296, 2011.
- DONG, L., FUJITA, T., DAI, M., GENG, Y., REN, J., FUJII, M., ... & OHNISHI, S. Towards preventative eco-industrial development: an industrial and urban symbiosis case in one typical industrial city in China. *Journal of Cleaner Production*, 114, 387-400, 2016.

- DONG, L., GU, F., FUJITA, T., HAYASHI, Y., & GAO, J. Uncovering opportunity of low-carbon city promotion with industrial system innovation: Case study on industrial symbiosis projects in China. *Energy Policy*, 65, 388-397, 2014.
- DONG, L.; ZHANG, H.; FUJITA, T.; OHNISHI, S.; LI, H.; FUJII, M.; DONG, H. Environmental and economic gains of industrial symbiosis for Chinese iron/steel industry: Kawasaki's experience and practice in Liuzhou and Jinan. *Journal of Cleaner Production*, v. 59, p. 226-238, 2013.
- EDER, W. E. Engineering design science and theory of technical systems: legacy of Vladimir Hubka. *Journal of Engineering Design*, v. 22, n. 5, p. 361-385, 2011.
- EEA, Circular by design: Products in the circular economy. EEA Report No 6/2017, European Environmental Agency, Copenhagen, 2017.
- ELIA NETO, A. ÚNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. Novas tecnologia para a vinhaça, 2016. Disponível em: <[www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=32015310](http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=32015310)>. Acesso em: 05 fev. 2018.
- Ellen MACARTHUR Foundation, 2015. Home page. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/overview/concept> (Acesso em: 09 de Fevereiro 2019).
- FALSAFI, M.; FORNASIERO, R.; DELLEPIANE, U. How to Make Industrial Symbiosis Profitable. In: Working Conference on Virtual Enterprises. Springer, Cham, 2017. p. 614-625.
- FÁVERO, J. A. (Coord). Produção Suínos: nutrição. Embrapa Suínos e Aves, Sistema de Produção - ISSN 1678-8850 Versão Eletrônica. Jul./2003.
- FELICIO, M., AMARAL, D., ESPOSTO, K., & DURANY, X. G. Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems. *Journal of Cleaner Production*, 118, 54-64, 2016.
- FELICIO, M. C. Proposta de um indicador para monitorar a evolução da simbiose industrial em parques eco-industriais segundo a perspectiva de sistemas dinâmicos. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- FERNANDEZ-MENA, H.; NESME, T.; PELLERIN, S. Towards an Agro-Industrial Ecology: A review of nutrient flow modelling and assessment tools in agro-food systems at the local scale. *Science of the Total Environment*, v. 543, p. 467-479, 2016.
- FEROLDI, M., URIO, M. B., DE ARAÚJO, A. V., & CREMONEZ, P. A. Geração de biogás a partir de efluentes de abatedouros. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v.3, n. especial, p.130-148, 2014.
- FIGUEIREDO, E. A. P. D., SCHMIDT, G. S., AVILA, V. S. D., JAENISCH, F. R. F., & PAIVA, D. P. D. Recomendações técnicas para a produção, abate, processamento e comercialização de frangos de corte coloniais. EMBRAPA Suínos e Aves - Sistemas de Produção, ISSN, 1678-8850, 2007.
- FLEURY, A. Planejamento do projeto de pesquisa e definição do modelo teórico. In:\_\_\_\_\_. MIGUEL, P. A. C. (Coord.) Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- FRACCASCIA, L., GIANNOCCARO, I., & ALBINO, V. Efficacy of landfill tax and subsidy policies for the emergence of industrial symbiosis networks: an agent-based simulation study. *Sustainability*, 9(4), 521, 2017.
- FRACCASCIA, L.; YAZAN, D. M. The role of online information-sharing platforms on the performance of industrial symbiosis networks. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018.
- FRAVET, P. D., SOARES, R. A. B., LANA, R. M. Q., LANA, A. M. Q., & KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(3), 618-624, 2010.
- FREDERICCI, C.; G. F. B. LENZ E SILVA; R. L. INDELICATO, J. B. FERREIRA NETO, T. R. RIBEIRO, F. J. G. LANDGRAF. Caracterização de cinzas de bagaço de cana como matéria prima para a produção de cerâmica. 56º Congresso Brasileiro de Cerâmica 1º Congresso Latino-Americano de Cerâmica IX Brazilian Symposium on Glass and Related Materials 03 a 06 de junho de 2012, Curitiba, PR, Brasil. 2012.
- FRICK, F. M. Efeito da adição fracionada de torta de filtro na digestão anaeróbia da vinhaça. Universidade Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. Dissertação. Palotina, 2018.
- GAGNON, B., LEDUC, R. & SAVARD, L.. From a conventional to a sustainable engineering design process: different shades of sustainability, *Journal of Engineering Design*, 23:1, 49-74, 2012.

- GANG, W., XIAO, F., & HOONG, C. K. Symbiosis analysis on industrial ecological system. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 22(6), 690-698, 2014.
- GEELS, F. W. 'Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study', *Research Policy* 31(8-9), 1 257-1 274, 2002.
- GERSHENSON, C.; HEYLIGHEN, F. How can we think the complex. *Managing organizational complexity: philosophy, theory and application*, v. 3, p. 47-62, 2005.
- GHALI, M. R., FRAYRET, J. M., & AHABCHANE, C. Agent-based model of self-organized industrial symbiosis. *Journal of cleaner production*, 161, 452-465, 2017.
- GLATZ, P., MIAO, Z., & RODDA, B. Handling and treatment of poultry hatchery waste: A review. *Sustainability*, 3(1), 216-237, 2011.
- GOLEV, A.; CORDER, G. D.; GIURCO, D. 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.
- GOLEV, Artem; CORDER, Glen D.; GIURCO, Damien P. Industrial symbiosis in Gladstone: A decade of progress and future development. *Journal of cleaner production*, v. 84, p. 421-429, 2014.
- GONELA, V.; ZHANG, J. Design of the optimal industrial symbiosis system to improve bioethanol production. *Journal of cleaner production*, v. 64, p. 513-534, 2014.
- GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, Braden R. *Industrial Ecology and Sustainable Engineering: International Edition*. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, Prentice Hall, 2010.
- GUO, B., GENG, Y., STERR, T., DONG, L., & LIU, Y. Evaluation of promoting industrial symbiosis in a chemical industrial park: A case of Midong. *Journal of Cleaner Production*, 135, 995-1008, 2016.
- HARDY, C.; GRAEDEL, T. E. Industrial ecosystems as food webs. *Journal of Industrial Ecology*, v. 6, n. 1, p. 29-38, 2002.
- HARRINGTON, H. J.; TUMAY, K. *Simulation modeling methods*. McGraw Hill Professional, 2000.
- HASKINS, C. A Systems Engineering Framework for Eco-Industrial Park Formation. *Systems Engineering*, v. 10, n. 1, p. 83-97, 2007.
- HERCZEG, G., AKKERMAN, R., & HAUSCHILD, M. Z. Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. *Journal of cleaner production*, 171, 1058-1067, 2018.
- HOLLAND, J. H. Studying complex adaptive systems. *Journal of Systems Science and Complexity*, v. 19, n. 1, p. 1-8, 2006.
- HOLTZ, G.; ALKEMADE, F.; DE HAAN, F.; KÖHLER, J.; TRUTNEVYTE, E.; LUTHE, T.; HALBE, J.; PAPACHRISTOS, G.; CHAPPIN, E.; KWAKKEL, J. Prospects of modelling societal transitions: Position paper of an emerging community. *Environ. Innov. Soc. Transit.* 2015, 17, 41-58.
- HOMRICH, A. S., GALVÃO, G., ABADIA, L. G., & CARVALHO, M. M. The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175, 525-543, 2018.
- HU, J.; CARDIN, M. Generating flexibility in the design of engineering systems to enable better sustainability and lifecycle performance. *Research in Engineering Design*, v. 26, n. 2, p. 121-143, 2015.
- HUBKA, V., & SCHREGENBERGER, J. W. Eine neue Systematik konstruktionswissenschaftlicher Aussagen-Ihre Struktur und Funktion. A New Systematic Order for Design-Scientific Statements-its Structure and Function), in *WDK 16: Proceedings of ICED*, 88, 103-117, 1988.
- HUBKA, V.; EDER, W. E. *Design Science: introduction to the needs, scope and organization of engineering design knowledge*. Londres: Springer, 1995.
- HUISINGH, D., ZHANG, Z., MOORE, J. C., QIAO, Q., & LI, Q. Recent advances in carbon emissions reduction: policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. *Journal of Cleaner Production*, 103, 1-12, 2015.
- IACONDINI, A., MENCHERINI, U., PASSARINI, F., VASSURA, I., FANELLI, A., & CIBOTTI, P. Feasibility of industrial symbiosis in Italy as an opportunity for economic development: critical success factor analysis, impact and constrains of the specific italian regulations. *Waste and Biomass Valorization*, 6(5), 865-874, 2015.
- IBGE, *Produção da Pecuária Municipal 2017*; Rio de Janeiro: IBGE, 2018

- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas. Relatório de pesquisa, Brasília, 2012.
- IPPC, Integrated Prevention Pollution. Control Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries. European Commission, May, 2005.
- JÄNSCH, J., & BIRKHOFER, H. The development of the guideline VDI 2221-the change of direction. In DS 36: Proceedings DESIGN 2006, the 9th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, 2006.
- JÄRVENPÄÄ, A.; SALMINEN, V.; RUOHOMAA, H. How Does Current Legislation Support the Emergence of Industrial Symbiosis in the EU?. In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 2019. p. 76-83.
- JENSEN, P. D.; BASSON, L.; HELLAWEEL, E. E.; BAILEY, M. R.; LEACH, M. Quantifying ‘geographic proximity’: experiences from the United Kingdom's national industrial symbiosis programme. Resources, Conservation and Recycling, v. 55, n. 7, p. 703-712, 2011.
- JORDAN, N. Temas de Psicología Especulativa. Editorial Troquel S.A., Buenos Aires, Argentina, 1974.
- SALEH, J. H., MARK, G. & JORDAN, N. C. Flexibility: a multidisciplinary literature review and a research agenda for designing flexible engineering systems, Journal of Engineering Design, 20:3, 307-323, 2009.
- KANEMATSU, Y., OKUBO, T., & KIKUCHI, Y. Activity and Data Models of Planning Processes for Industrial Symbiosis in Rural Areas. Kagaku Kogaku Ronbunshu, 43(5), 347-357, 2017.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SADOWSKI, D. A. Simulation with Arena, McGraw-Hill. New York, 2007.
- KOKOULINA, L., ERMOLAEVA, L., PATALA, S., & RITALA, P. Championing processes and the emergence of industrial symbiosis. Regional Studies, 1-12, 2018.
- KONZEN, E. A., & ALVARENGA, R. Adubação orgânica. Brasília, EMBRAPA. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_48\\_16820051](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_48_16820051), 1159, 2004.
- KOTLAR, C. E.; AGÜERO, M. V.; ROURA, S. I. Statistical optimization of a novel low-cost medium based on regional agro-industrial by-products for the production of proteolytic enzymes by *Bacillus cereus*. Preparative Biochemistry and Biotechnology, v. 42, n. 5, p. 406-425, 2012.
- KUNZ, A., & OLIVEIRA, P. A. V. D. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. Revista de Política Agrícola, 15(3), 28-35, 2006.
- KUNZ, N., MORAN, C., KASTELLE, T. Conceptualising “coupling” for sustainability implementation in the industrial sector: a review of the field and projection of future research opportunities. J. Cleaner Prod. 53, 69–80, 2013.
- LAMBERT, A. J. D.; BOONS, Frank A. Eco-industrial parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks. Technovation, v. 22, n. 8, p. 471-484, 2002.
- LANGE, K. P., KOREVAAR, G., OSKAM, I. F., & HERDER, P. M. Developing and understanding design interventions in relation to industrial symbiosis dynamics. Sustainability, 9(5), 826, 2017.
- LEAL, R.; GRAZIANO, P.; HERNANDES, T.; FRANCO H. Uso da palha de cana-de-açúcar para cogeração de energia: questões fundamentais do Projeto SUCRE. Fonte: Portal SUCRE, UDOP, União dos produtores de bioenergia. Acesso em: <https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1133472>, 10 de Abril de 2019.
- LEE, Deishin; TONGARLAK, Mustafa Hayri. Converting retail food waste into by-product. European Journal of Operational Research, v. 257, n. 3, p. 944-956, 2017.
- LI, J., PAN, S. Y., KIM, H., LINN, J. H., & CHIANG, P. C. Building green supply chains in eco-industrial parks towards a green economy: Barriers and strategies. Journal of environmental management, 162, 158-170, 2015.
- LIMA, A. M. F. Impactos e oportunidades de melhorias ambientais na cadeia produtiva do algodão para produção de biodiesel ' 25/04/2017 133 f. Doutorado em ENERGIA E AMBIENTE Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Salvador Biblioteca Depositária: Bernadeth Sinay Neves.
- LIU, C.; CÔTÉ, R. P.; ZHANG, K. Implementing a three-level approach in industrial symbiosis. Journal of Cleaner Production, v. 87, p. 318-327, 2015.
- LIU, Z., ADAMS, M., COTE, R. P., GENG, Y., & LI, Y. Comparative study on the pathways of industrial parks towards sustainable development between China and Canada. Resources, Conservation and Recycling, 2016.

- LIU, Z., ADAMS, M., COTE, R. P., GENG, Y., CHEN, Q., LIU, W., ... & YU, X. Comprehensive development of industrial symbiosis for the response of greenhouse gases emission mitigation: Challenges and opportunities in China. *Energy Policy*, 102, 88-95, 2017.
- LOISEAU, E., SAIKKU, L., ANTIKAINEN, R., DROSTE, N., HANSJÜRGENS, B., PITKÄNEN, K., ... & THOMSEN, M. Green economy and related concepts: An overview. *Journal of Cleaner Production*, 139, 361-371, 2016.
- LOMBARDI, D. R.; LAYBOURN, P. Redefining industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 28-37, 2012.
- LOU, H. H., KULKARNI, M. A., SINGH, A., & HUANG, Y. L. A game theory based approach for emergy analysis of industrial ecosystem under uncertainty. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 6(3), 156-161, 2004.
- LOWE, E. *Eco-industrial Park handbook for Asian Developing Countries*. Indigo Development. p. 312. 2001
- LUCIANO, A., BARBERIO, G., MANCUSO, E., SBAFFONI, S., LA MONICA, M., SCAGLIARINO, C., & CUTAIA, L. Potential Improvement of the Methodology for Industrial Symbiosis Implementation at Regional Scale. *Waste and Biomass Valorization*, 7(4), 1007-1015, 2016.
- PEREIRA, L. C., BALBINO, M. V., VIANA, L. S., FARIAS N. S. N., XAVIER M. R. R., RAMOS Q. W., CORREIO, J. A. C. Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. *Revista brasileira de Energia Renováveis*, v. 7, n. 4, p. 406-422, 2018.
- LYONS, D. I. A spatial analysis of loop closing among recycling, remanufacturing, and waste treatment firms in Texas. *Journal of Industrial Ecology*, v. 11, n. 1, p. 43-54, 2007.
- MACAL, C. M. E NORTH, M. J. "Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation Part 2: How to model with agents", in Perrone, L. F., Wieland, F. P. Lawson, B. G., Nicol, D. M. and Fujimoto R. M., J. A. (eds.), *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, 2006.
- MACAL, C. M. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, v. 10, n. 2, p. 144-156, 2016.
- MACAL, C. M.; NORTH, M. J. Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, v.4, p.1510162, 2010
- MACHADO, L. A. Z., SALTON, J. C., PRIMAVESI, O., FABRÍCIO, A. C., KICHEL, A. N., MACEDO, M. C. M., ZIMMER, C. M. & GUIMARÃES, C. M. Integração agricultura; Pecuária. Embrapa Pecuária Sudeste- Capítulo em livro científico (ALICE), 1998.
- MACHADO, L. A. Z.; SALTON, J. C.; PRIMAVESI, O.; FABRÍCIO, A. C.; KICHEL, A. N.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; GUIMARÃES, C. M. Integração agriculturapecuária. Salton, J. C. et al. (Org.). *Sistema Plantio Direto: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília: Embrapa SPI; Dourados: Embrapa CPAO, 1998. p. 217-232. (Coleção 500 Perguntas 500 Respostas).
- MADSEN, J. K., BOISEN, N., NIELSEN, L. U., & TACKMANN, L. H. Industrial symbiosis exchanges: Developing a guideline to companies. *Waste and Biomass Valorization*, 6(5), 855-864, 2015.
- MAES, P. The agent network architecture (ANA). *ACM SIGART Bulletin*, v. 2, n. 4, p. 115-120, 1991.
- MAILLÉ, M.; FRAYRET, J.. Industrial Waste Reuse and By-product Synergy Optimization. *Journal of Industrial Ecology*, v. 20, n. 6, p. 1284-1294, 2016.
- MANNINO, I., NINKA, E., TURVANI, M., & CHERTOW, M. The decline of eco-industrial development in Porto Marghera, Italy. *Journal of Cleaner Production*, 100, 286-296, 2015.
- MANTESE, G. C.; AMARAL, D. C. Comparison of industrial symbiosis indicators through agent-based modeling. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 1652-1671, 2017.
- MANTESE, G.C., AMARAL, D.C. Identification and comparison of performance indicators for measuring industrial symbiosis. *Rev. Produç~ ao Online* 16 (4), 1329e1348, 2016.
- MANTESE, G. C.; AMARAL, D. C. Agent-based simulation to evaluate and categorize industrial symbiosis indicators. *Journal of Cleaner Production*, v. 186, p. 450-464, 2018.
- MANTESE, G. C.; PIERE, B. A.; AMARAL, D. C. A Procedure to Validate Industrial Symbiosis Indicators Combining Conceptual and Empirical Validation Methods. In: *ISPE TE*. 2016. p. 166-175.

- MARCONI, M., GREGORI, F., GERMANI, M., PAPETTI, A., & FAVI, C. An approach to favor industrial symbiosis: the case of waste electrical and electronic equipment. *Procedia Manufacturing*, 21, 502-509, 2018.
- MARINELLI, M., GAMBERA, V., CAMUGLIA, A., LARDARUCCIO, R., & PISASALE, A. A technical and economic analysis of method of recycling waste by sicilian companies recycle. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 4 41-47, 2017.
- MARTIN, M., & EKLUND, M. Improving the environmental performance of biofuels with industrial symbiosis. *Biomass and Bioenergy*, 35(5), 1747-1755, 2011.
- MARTIN, M.; SVENSSON, N.; EKLUND, M. Who gets the benefits? An approach for assessing the environmental performance of industrial symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, v. 98, p. 263-271, 2015.
- MARTINELLI, D. P.; VENTURA, C. A. A.; LIBONI, L. B.; MARTINS, T. M.; Teoria Geral dos Sistemas. Editora Saraiva, 2012.
- MARTINS, R. A. Princípios da pesquisa científica. In: MIGUEL, Paulo A.M (org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012a, pp.5-29.
- MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: MIGUEL, Paulo A.M (org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012b, pp.45-61.
- MEDEIROS, E. D., S., R. M., NEVES, G., & Menezes, R. R. Incorporação de cinza de lenha, lodo de estação de tratamento de água e cinza de casca de arroz em massa cerâmica. *Utilização da técnica de planejamento*. *Cerâmica*, 56(340), 2010.
- MENATO, S., CARIMATI, S., MONTINI, E., INNOCENTI, P., CANETTA, L., & SORLINI, M. Challenges for the adoption of industrial symbiosis approaches within industrial agglomerations. In *Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 2017 International Conference on* (pp. 1293-1299). IEEE.
- MENDES, J. T. G.; JÚNIOR, J. B. P. *Agronegócio: uma abordagem econômica*. Pearson Prentice Hall, 2007.
- MENEGON, N. L., & DE ANDRADE, R. S. (1998). Projeto do produto em engenharia de produção. *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO* (18.: 1998: Niterói, RJ). *Anais... Niterói: UFF. TEP*.
- MILEVA-BOSHKOSKA, Biljana; RONČEVIĆ, Borut; URŠIČ, Erika. Modeling and Evaluation of the Possibilities of Forming a Regional Industrial Symbiosis Networks. *Social Sciences*, v. 7, n. 1, p. 13, 2018.
- MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, v. 65, p. 28-41, 2014.
- MIRATA, M. Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: determinants and coordination challenges. *Journal of Cleaner Production*, v. 12, n. 8, p. 967-983, 2004.
- MIRATA, M.; EMTAIRAH, T. Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: the case of the Landskrona industrial symbiosis programme. *Journal of Cleaner Production*, v. 13, n. 10, p. 993-1002, 2005.
- MOL, A. P. J.; DIEU, Tran Thi My. Analysing and governing environmental flows: the case of Tra Co tapioca village, Vietnam. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, v. 53, n. 3-4, p. 301-317, 2006.
- MOORE, G. R. P., MARTELLI, S. M., ANDREO, P. D., GANDOLFO, C. A., MACHADO, R. F. A., BOLZAN, A., & LAURINDO, J. B. Obtenção de Biofilmes a partir de Queratina de Penas de Frango. *Revista Matéria*, 10(1), 8-13, 2005.
- MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: MIGUEL, Paulo A.M (org.). *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, pp.165-194.
- MOREAU, V., SAHAKIAN, M., VAN GRIETHUYSEN, P., VUILLE, F. Coming full circle: why social and institutional dimensions matter for the circular economy. *J. Ind. Ecol.* 21 (3), 497e506, 2017.
- MOREL, Benoit; RAMANUJAM, Rangaraj. Through the looking glass of complexity: The dynamics of organizations as adaptive and evolving systems. *Organization Science*, v. 10, n. 3, p. 278-293, 1999.
- MORIN, E. *Introdução ao pensamento complexo*. Tradução por Lisboa, E. Porto Alegre: Sulina, 2005.
- MOTTE, D. A review of the fundamentals of systematic engineering design process models. In: *DS 48: Proceedings DESIGN 2008, the 10th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia. 2008*.
- MULDER, K.; KAIJSER, A. The dynamics of technological systems integration: Water management, electricity supply, railroads and industrialization at the Göta Älv. *Technology in Society*, v. 39, p. 88-99, 2014.

- MÜLLER, J. P. Architectures and applications of intelligent agents: A survey. *The Knowledge Engineering Review*, v. 13, n. 4, p. 353–380, 1998.
- MURAKAMI, F., SULZBACH, A., PEREIRA, G. M., BORCHARDT, M., & SELMITTO, M. A. How the Brazilian government can use public policies to induce recycling and still save money?. *Journal of Cleaner Production*, 96, 94-101, 2015.
- NARDIN, R. R. Torta de filtro aplicada em argissolo e seus efeitos agrônômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas. 2007. 39 p. 2007. Dissertação (Mestrado em Agricultura)–Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, SP.
- NESS, David A.; XING, Ke. Toward a Resource-Efficient Built Environment: A Literature Review and Conceptual Model. *Journal of Industrial Ecology*, v. 21, n. 3, p. 572-592, 2017.
- NGUYEN, H. P.; MATSUURA, Y. Designing a sustainability framework for the initiation and management of coordination in an energy exchange. *Journal of Cleaner Production*, 2016.
- NIUTANEN, V., & KORHONEN, J. Industrial ecology flows of agriculture and food industry in Finland: utilizing by-products and wastes. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 10(2), 133-147, 2003.
- NODARI, L. I. Aproveitamento da casca de arroz para geração termelétrica em tecnologia simples - a reversão de processo poluidor. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 1997.
- NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G.; RENZULLI, P. A. Industrial symbiosis in the Taranto industrial district: current level, constraints and potential new synergies. *Journal of Cleaner Production*, v. 122, p. 133-143, 2016.
- NUHOFF-ISAKHANYAN, G., WUBBEN, E. F., OMTA, O. S., & PASCUCCI, S. Network structure in sustainable agro-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1209-1220, 2017.
- NUNES, I. H. S., VANDERLEI, R. D., SECCHI, M., & ABE, M. A. P. Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção. *Revista Tecnológica*, 17(1), 39-48, 2010.
- OHNISHI, S., DONG, H., GENG, Y., FUJII, M., & FUJITA, T. A comprehensive evaluation on industrial & urban symbiosis by combining MFA, carbon footprint and emergy methods—Case of Kawasaki, Japan. *Ecological Indicators*, 73, 513-524, 2017.
- OLIVEIRA, P. D. Produção e manejo de dejetos de suínos. *A Produção Animal na Visão dos Brasileiros*. Piracicaba: FEALQ, 164-177, 2001.
- OLIVEIRA, F. R., FRANÇA, S. L. B., & RANGEL, L. A. D. Challenges and opportunities in a circular economy for a local productive arrangement of furniture in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 202-209, 2018.
- OMETTO, A. R., RAMOS, P. A. R., & LOMBARDI, G. The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. *Journal of Cleaner Production*, 15(13), 1253-1258, 2007.
- OMETTO, A. R.; RAMOS, P.; LOMBARDI, G. Geripa, a new concept for renewable energy and food production with environmental and social concerns. In: *Proceedings of IV biennial international Workshop “Advances in Energy Studies”*, UNICAMP, Campinas, Brasil. 2004. p. 16-19.
- O'ROURKE, D., CONNELLY, L., & KOSHLAND, C. *Industrial Ecology: A Critical Review*, Draft-November 3. University of California, Berkeley, USA, 1995.
- OSAKI, F., & DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba. *Revista Setor Ciências Agrárias*, 11(1-2), 197-215, 1991.
- ÖZYURT, D. B.; REALFF, M. J. Combining a Geographical Information System and Process Engineering to Design an Agricultural-Industrial Ecosystem. *Journal of Industrial Ecology*, v. 5, n. 3, p. 13-31, 2001.
- PACHECO, J. W; YAMANAKA, H. T. Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno). - - São Paulo : CETESB, 2006. 98p. (CD) : il. ; 2cm. - (Série P + L). Disponível em : <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>.
- PACHECO, J. W. Guia técnico ambiental de graxarias. São Paulo : CETESB, 2006. 76p. (1 CD) : il. ; 21 cm. - (Série P + L). Disponível em : <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>.
- PADILHA, A. C. M., LEAVY, S., SAMPAIO, A., JERÔNIMO, F. B. Gestão ambiental de resíduos da produção na Perdigão Agroindustrial S/A-Unidade Industrial de Serafina Corrêa-RS. In NEVES, MF; BIALOSKORSKI, S.; SCARE, RF Congresso Brasileiro De Economia e Sociologia Rural (Vol. 43), 2005.

- PAHL, A. K., NEWNES, L., & MCMAHON, C. A generic model for creativity and innovation: overview for early phases of engineering design. *Journal of Design Research*, 6(1-2), 5-44, 2007.
- PAHL, G., & BEITZ, W. *Engineering design: a systematic approach*. Springer Science & Business Media, 2 ed., 1996.
- PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3ed. Springer. 2007.
- PÄIVÄRINNE, S.; HJELM, O.; GUSTAFSSON, S. Excess heat supply collaborations within the district heating sector: Drivers and barriers. *Journal of renewable and sustainable energy*, v. 7, n. 3, p. 033117, 2015.
- PAKARINEN, S.; MATTILA, T.; MELANEN, M.; NISSINEN, A.; SOKKA, L. Sustainability and industrial symbiosis—The evolution of a Finnish forest industry complex. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, n. 12, p. 1393-1404, 2010.
- PAQUIN, R. L.; BUSCH, T.; TILLEMANN, S. G. Creating economic and environmental value through industrial symbiosis. *Long Range Planning*, v. 48, n. 2, p. 95-107, 2015.
- PAQUIN, R. L.; HOWARD-GRENVILLE, J. The evolution of facilitated industrial symbiosis. *Journal of industrial Ecology*, v. 16, n. 1, p. 83-93, 2012.
- PARK, H. S., & WON, J. Y. Ulsan eco-industrial park: Challenges and opportunities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(3), 11-13, 2007.
- PARK, H.; BEHERA, S. K. Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*, v. 64, p. 478-485, 2014.
- PARK, J. Y. Assessing determinants of industrial waste reuse: The case of coal ash in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 92, p. 116-127, 2014.
- PATALA, S., HÄMÄLÄINEN, S., JALKALA, A., & PESONEN, H. L. Towards a broader perspective on the forms of eco-industrial networks. *Journal of cleaner production*, 82, 166-178, 2014.
- PEGDEN, C. D.; SADOWSKI, R. P.; SHANNON, Robert E. *Introduction to simulation using SIMAN*. McGraw-Hill, Inc., 1995.
- PENTEADO, M. C., SCHIRMER, W. N., DOURADO, D. C., & GUERI, M. V. D. Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia da vinhaça e bagaço de cana. *BIOFIX Scientific Journal*, 1(1), 26-33, 2017.
- PEREIRA, A. S.; LIMA, J. C. F.; RUTKOWSKI, W. Ecologia industrial, produção e ambiente: uma discussão sobre as abordagens de inter-conectividade produtiva. In: *Anais 1st International Workshop Advances in Cleaner Production*, v. 1, São Paulo, 2007.
- PERRONI, M. G., DA COSTA, S. E. G., DE LIMA, E. P., & DA SILVA, W. V. The relationship between enterprise efficiency in resource use and energy efficiency practices adoption. *International Journal of Production Economics*, 2016.
- PIDD, M. *Computer simulation in management science*. 4 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.
- Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 22 de Novembro 2018.
- POSADAS, E., BOCHON, S., COCA, M., GARCÍA-GONZÁLEZ, M. C., GARCÍA-ENCINA, P. A., & MUÑOZ, R. Microalgae-based agro-industrial wastewater treatment: a preliminary screening of biodegradability. *Journal of applied phycology*, 26(6), 2335-2345, 2014.
- PUENTE, MC R.; AROZAMENA, E. R.; EVANS, S. Industrial symbiosis opportunities for small and medium sized enterprises: preliminary study in the Besaya region (Cantabria, Northern Spain). *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 357-374, 2015.
- PUGH, Stuart. *Total design: integrated methods for successful product engineering*. 1991.
- PUKASIEWICZ, S. R. M., OLIVEIRA, I., & PILATTI, L. A. Estudo de caso: gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma indústria processadora de soja. *XI SIMPEP Bauru, SP*, 2004.

- RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V. Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction. Princeton university press, 2019.
- REBAH, F. B., PRÉVOST, D., YEZZA, A., & TYAGI, R. D. Agro-industrial waste materials and wastewater sludge for rhizobial inoculant production: a review. *Bioresource technology*, v. 98, n. 18, p. 3535-3546, 2007.
- REIS, A.; MANFROI, E. P. Valorização da cinza de caldeira de indústria de tingimento têxtil para produção de argamassas sustentáveis. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de Novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.
- ROBINSON, S. Simulation: The Practice of Model Development and Use. London: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- ROMERO, E., & RUIZ, M. C. Framework for Applying a Complex Adaptive System Approach to Model the Operation of Eco-Industrial Parks. *Journal of Industrial Ecology*, 17(5), 731-741, 2013.
- ROMERO, E; RUIZ, M. C. Proposal of an agent-based analytical model to convert industrial areas in industrial eco-systems. *Science of the Total Environment*, v. 468, p. 394-405, 2014.
- ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Adubação: resíduos alternativos. Brasília, DF: EMBRAPA, 2007. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_39\\_711200516717.html#](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html#). Acesso em: 02 de Abril de 2019.
- ROTMANS, Jan; LOORBACH, Derk. Complexity and transition management. *Journal of Industrial Ecology*, v. 13, n. 2, p. 184-196, 2009.
- ROVAS, D., & ZABANIOTOU, A. Exergy analysis of a small gasification-ICE integrated system for CHP production fueled with Mediterranean agro-food processing wastes: The SMART-CHP. *Renewable Energy*, 83, 510-517, 2015.
- SAAVEDRA, Y. M., IRITANI, D. R., PAVAN, A. L., & OMETTO, A. R. Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1514-1522, 2018.
- SACIROVIC, S.; KETIN, S.; VIGNJEVIC, N. Eco-industrial zones in the context of sustainability development of urban areas. *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-11, 2018.
- SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste Management*, v. 30, n. 6, p. 1114-1122, 2010.
- SANTOS, N. M., PONTES, M. L. B., de SOUZA, P. H. N., da SILVA FILHO, C. S., & de OLIVEIRA, E. R. C. Viabilidade da implementação de um sistema de biodigestor no abatedouro e frigorífico rio maria. In *Forum Internacional de Resíduos Sólidos-Anais*, 2018.
- SANTOS, V. E. N. Proposta metodológica para a criação de biorrefinaria de bagaço de cana produtora de bioplataformas químicas: um ensaio preliminar como parte de um sistema de simbiose industrial em campos dos GOYTACAZES-RJ' 08/03/2013 235 f. Mestrado em Planejamento Energético Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: CT/UFRJ.
- SANTOS, V. E. N., & MAGRINI, A. Biorefining and industrial symbiosis: A proposal for regional development in Brazil. *Journal of cleaner production*, 177, 19-33, 2018.
- SCHEEL, C. Beyond sustainability. Transforming industrial zero-valued residues into increasing economic returns. *Journal of Cleaner Production*, v. 131, p. 376-386, 2016.
- SCHILLER, F.; PENN, A. S.; BASSON, L. Analyzing networks in industrial ecology—a review of Social-Material Network Analyses. *Journal of Cleaner Production*, v. 76, p. 1-11, 2014.
- SELLITTO, Miguel Afonso; MURAKAMI, Fabio Kazuhiro. Industrial Symbiosis: A Case Study Involving a Steelmaking, a Cement Manufacturing, and a Zinc Smelting Plant. *Chemical Engineering Transactions*, v. 70, p. 211-216, 2018.
- SHEARD, Sarah A.; MOSTASHARI, Ali. Principles of complex systems for systems engineering. *Systems Engineering*, v. 12, n. 4, p. 295-311, 2009.
- SHI, H.; CHERTOW, M.; SONG, Y. Developing country experience with eco-industrial parks: a case study of the Tianjin Economic-Technological Development Area in China. *Journal of Cleaner Production* V.18, p.191-199, 2010.
- SHI, X.; LI, X. A symbiosis-based life cycle management approach for sustainable resource flows of industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, v. 226, p. 324-335, 2019.

- SHORT, S. W., BOCKEN, N. M., BARLOW, C. Y., & CHERTOW, M. R. From refining sugar to growing tomatoes. *Journal of Industrial Ecology*, 18(5), 603-618, 2014.
- SILVA, A., ROSANO, M., STOCKER, L., & GORISSEN, L. From waste to sustainable materials management: Three case studies of the transition journey. *Waste Management*, 2016.
- SILVA, DJP da. Resíduos na indústria de laticínios. *Série Sistema de Gestão Ambiental*. Viçosa-MG, 2011.
- SILVA, O. D., ARDENGGHI, T. C., RITTER, C. M., SANTOS, F. D. R., & HALMEMAN, M. C. R. Potencial energético da biomassa da casca de arroz no Brasil. III SIAUT–Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, Paraná, 2012.
- SIMBOLI, A.; TADDEO, R.; MORGANTE, A. Analysing the development of Industrial Symbiosis in a motorcycle local industrial network: the role of contextual factors. *Journal of cleaner production*, v. 66, p. 372-383, 2014.
- SIMBOLI, A.; TADDEO, R.; MORGANTE, A. The potential of Industrial Ecology in agri-food clusters (AFCs): A case study based on valorisation of auxiliary materials. *Ecological Economics*, v. 111, p. 65-75, 2015.
- SINGH, A., LOU, H. H., YAWS, C. L., HOPPER, J. R., & PIKE, R. W. Environmental impact assessment of different design schemes of an industrial ecosystem. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 51, n. 2, p. 294-313, 2007.
- SOKKA, L., LEHTORANTA, S., NISSINEN, A., & MELANEN, M. Analyzing the environmental benefits of industrial symbiosis: life cycle assessment applied to a Finnish forest industry complex. *Journal of Industrial Ecology*, 15(1), 137-155, 2011.
- SOKKA, L.; PAKARINEN, S.; MELANEN, M. Industrial symbiosis contributing to more sustainable energy use—an example from the forest industry in Kymenlaakso, Finland. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 4, p. 285-293, 2011.
- SOPHA, B. M.; FET, A. M.; KEITSCH, M. M.; HASKINS, C. Using systems engineering to create a framework for evaluating industrial symbiosis options. *Systems Engineering*, v. 13(2), p.149-160, 2010.
- SPEKKINK, W. Building capacity for sustainable regional industrial systems: an event sequence analysis of developments in the Sloe Area and Canal Zone. *Journal of Cleaner Production*, v. 98, p. 133-144, 2015.
- SPEKKINK, W. Industrial Symbiosis as a Social Process: Developing theory and methods for the longitudinal investigation of social dynamics in the emergence and development of industrial symbiosis. Tese. Erasmus University Rotterdam - Países Baixos, 2016.
- STACEY, R. D. Complexity and creativity in organizations. Berrett-Koehler Publishers, 1996.
- STEINMETZ, R., KUNZ, A., SOARES, H., do AMARAL, A. C., & MOTA, S. Avaliação da produção de biogás de resíduos de incubatório de ovos. In Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Seminário Brasileiro De Gestão Ambiental Na Agropecuária, 4., 2014, Bento Gonçalves, RS. Anais... Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014.
- SUN, L., LI, H., DONG, L., FANG, K., REN, J., GENG, Y., ... & LIU, Z. Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and emergy evaluation approach: A case of Liuzhou city, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 119, 78-88, 2017.
- TADDEO, R., SIMBOLI, A., IOPPOLO, G., & MORGANTE, A. Industrial symbiosis, networking and innovation: The potential role of innovation poles. *Sustainability*, 9(2), 169, 2017.
- TAN, R. R., ANDIAPPAN, V., WAN, Y. K., NG, R. T., & NG, D. K. An optimization-based cooperative game approach for systematic allocation of costs and benefits in interplant process integration. *Chemical Engineering Research and Design*, 106, 43-58, 2016.
- TEH, B. T., HO, C. S., MATSUOKA, Y., CHAU, L. W., & GOMI, K. Determinant factors of industrial symbiosis: greening Pasir Gudang industrial park. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 18, No. 1, p. 012162). IOP Publishing, 2014.
- TIEJUN, D. Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, n. 7, p. 442-448, 2010.
- TIU, B. T. C.; CRUZ, D. E. An MILP model for optimizing water exchanges in eco-industrial parks considering water quality. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 119, p. 89-96, 2017.

- TROKANAS, N.; CECELJA, F.; RAAFAT, T. Semantic approach for pre-assessment of environmental indicators in Industrial Symbiosis. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 349-361, 2015.
- TROKANAS, N.; CECELJA, F.; RAAFAT, T. Semantic input/output matching for waste processing in industrial symbiosis. *Computers & Chemical Engineering*, v. 66, p. 259-268, 2014.
- TSENG, M.; BUI, T. Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p. 1376-1389, 2017.
- TUDOR, T.; ADAM E.; BATES, M. Drivers and limitations for the successful development and functioning of EIPs (eco-industrial parks): a literature review. *Ecological Economics*, 2007.
- UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME; DEPA – DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY; COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark. Cleaner production assessment in meat processing. Paris: UNEP, 2000. Disponível em <http://www.agrifood-forum.net/publications/guide/index.htm>
- UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. Disponível em: <https://unfccc.int/>. Acesso em: 15 de Janeiro de 2019.
- UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. Bioeletricidade: a energia verde e inteligente do Brasil. São Paulo: Prole, 2011.
- UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. Cartilha da Bioeletricidade: Superando as Barreiras Regulatórias para Comercialização de Eletricidade pelas Usinas do Setor Sucroenergético. Projeto SUCRE. São Paulo: Prole, 2017.
- VAN BEERS, D.; BOSSILKOV, A.; LUND, C. Development of large scale reuses of inorganic by-products in Australia: The case study of Kwinana, Western Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 53, n. 7, p. 365-378, 2009.
- VARDANEGA, R.; PRADO, J. M.; MEIRELES, M. A. A. Adding value to agri-food residues by means of supercritical technology. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 96, p. 217-227, 2015.
- VEIGA, Lilian Bechara Elabras; MAGRINI, Alessandra. Eco-industrial park development in Rio de Janeiro, Brazil: a tool for sustainable development. *Journal of cleaner production*, v. 17, n. 7, p. 653-661, 2009.
- WANG, G.; FENG, X.; CHU, K. H. A novel approach for stability analysis of industrial symbiosis systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 39, p. 9-16, 2013.
- WANG, Q.; DEUTZ, P.; CHEN, Y. Building institutional capacity for industrial symbiosis development: A case study of an industrial symbiosis coordination network in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 1571-1582, 2017.
- WEN, Z.; MENG, X. Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: a case study of the printed circuit boards industry in China's Suzhou New District. *Journal of Cleaner Production*, v. 90, p. 211-219, 2015.
- WILENSKY, U. NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. 1999. Atualização 2018.
- WILENSKY, U.; RAND, W. An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo. MIT Press, 2015.
- WILENSKY, U.; REISMAN, K. Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories—an embodied modeling approach. *Cognition and instruction*, v. 24, n. 2, p. 171-209, 2006.
- WITJES, S.; LOZANO, R. Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 112, p. 37-44, 2016.
- WON, J. Y.; KIM, J. H.; LEE, S. Y.; PARK, H. S. Industrial Symbiosis as an Integrated Business/Environment Management Process: The Case of Ulsan Industrial Complex. In: *Strategic Technology, The 1st International Forum on*. IEEE, 2006. p. 423-428.
- WOOLDRIDGE, M. Practical reasoning with procedural knowledge. *Practical Reasoning*, p. 663-678, 1996.
- WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, v. 10, n. 2, p. 115-152, 1995.

- WU, J.; QI, H.; WANG, R. Insight into industrial symbiosis and carbon metabolism from the evolution of iron and steel industrial network. *Journal of Cleaner Production*, v. 135, p. 251-262, 2016.
- WYNN, D. C.; CLARKSON, P. J. Process models in design and development. *Research in Engineering Design*, v. 29, n. 2, p. 161-202, 2018.
- WWF-Brasil – World Wildlife Fund – Brasil, organização da sociedade civil brasileira sem fins lucrativos. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2018.
- YAZAN, D. M., FRACCASCIA, L., MES, M., & ZIJM, H. Cooperation in manure-based biogas production networks: An agent-based modeling approach. *Applied energy*, 212, 820-833, 2018.
- YAZAN, Devrim Murat; ROMANO, Vincenzo Alessio; ALBINO, Vito. The design of industrial symbiosis: an input–output approach. *Journal of cleaner production*, v. 129, p. 537-547, 2016.
- YU, C.; DIJKEMA, G. PJ; JONG, M. What Makes Eco-Transformation of Industrial Parks Take Off in China?. *Journal of Industrial Ecology*, v. 19, n. 3, p. 441-456, 2015.
- YU, C.; JONG, M.; DIJKEMA, G. P. J. Process analysis of eco-industrial park development – the case of Tianjin, China. *Journal of Cleaner Production*. v.64, p.464-477, 2014.
- YU, Fei; HAN, Feng; CUI, Zhaojie. Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 87, p. 339-347, 2015.
- YU, Fei; HAN, Feng; CUI, Zhaojie. Reducing carbon emissions through industrial symbiosis: a case study of a large enterprise group in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 103, p. 811-818, 2015.
- YUAN, Z.; SHI, L. Improving enterprise competitive advantage with industrial symbiosis: case study of a smeltery in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 14, p. 1295-1302, 2009.
- ZHANG, B.; WANG, Z. Inter-firm collaborations on carbon emission reduction within industrial chains in China: practices, drivers and effects on firms' performances. *Energy Economics*, v. 42, p. 115-131, 2014.
- ZHANG, H., SUN, X., ZHU, X., & LI, Y. Structure stability analysis of industrial system and construction of eco-industrial chain: a case study of Lianyungang Xuwei New Area, China. *Acta Ecologica Sinica*, 34(5), 255-260, 2014.
- ZHANG, Y., ZHENG, H., SHI, H., YU, X., LIU, G., SU, M., ... & CHAI, Y. Network analysis of eight industrial symbiosis systems. *Frontiers of Earth Science*, 10(2), 352-365, 2016.
- ZHANG, Y.; ZHENG, H.; FATH, B. D. Ecological network analysis of an industrial symbiosis system: a case study of the Shandong Lubei eco-industrial park. *Ecological Modelling*, v. 306, p. 174-184, 2015.
- ZHENG, K., & JIA, S. Promoting the opportunity identification of industrial symbiosis: Agent-based modeling inspired by innovation diffusion theory. *Sustainability*, 9(5), 765, 2017.
- ZHOU, L., HU, S., LI, Y., JIN, Y., ZHANG, X. Modeling and optimization of a coalchemical eco-industrial system in China. *J. Ind. Ecol.* 16 (1), 105e118, 2012.
- ZHU, J., & RUTH, M. Exploring the resilience of industrial ecosystems. *Journal of environmental management*, 122, 65-75, 2013.
- ZHU, J.; RUTH, M.. The development of regional collaboration for resource efficiency: A network perspective on industrial symbiosis. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 44, p. 37-46, 2014.
- ZHU, Q.; LOWE, E. A.; BARNES, D. Industrial symbiosis in China: a case study of the Guitang Group. *Journal of Industrial Ecology*. v.11, p. 31-42, 2007.

## APÊNDICE A – Protocolo RBS para Simbiose Industrial

Foram encontrados 863 artigos na SCOPUS e 3.560 pelo portal da CAPES. Após a aplicação dos filtros foram lidos e utilizados cerca de 278 artigos. A documentação e análise dos dados foram apresentados no capítulo 2 desta tese.

<b>Formulação da Questão</b>	Objetivo	Compreender o tema Simbiose Industrial
	Problema de Pesquisa	Compreender como a SI é caracterizada, seu funcionamento, classificação e aplicações.
	Referências Primárias	Chertow (2000; 2004; 2007), Ashton (2008).
	Questão de Pesquisa	Como funciona a SI? Como ela pode ser desenvolvida?
	Palavra-chave	“ <i>Industrial Symbiosis</i> ”
	Base de dados selecionadas	SCOPUS (Endereço virtual: <a href="http://www.scopus.com">http://www.scopus.com</a> ) e Portal de periódicos CAPES.
	Método de Busca	Uso de <i>strings</i> definidos de forma a retornem resultados que contenham a palavra-chave em questão, que por si só compreende todo o tema a ser levantado, nos campos de busca: título, resumo ou palavras-chave. A definição das <i>strings</i> é adequada a cada base de dados pesquisada, uma vez que os mecanismos de busca são diferentes em cada base. Busca no título, palavras-chave e resumo.
<b>Seleção dos Estudos</b>	Critérios de Inclusão e Exclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estar em português ou inglês.</li> <li>● Pertinência: Tema principal relacionado a Simbiose Industrial no setor agroindustrial.</li> <li>● Disponibilidade de arquivo completo para <i>download</i></li> <li>● Serão excluídos os estudos em duplicatas</li> <li>● Serão aceitos apenas artigos científicos.</li> </ul>
	Filtros	Filtro preliminar: os estudos ainda na base de dados são submetidos aos seguintes critérios de inclusão e exclusão: Estudos em língua inglesa e disponibilidade de arquivo completo para <i>download</i> .
		O Filtro 1 consiste na leitura de título, resumo e palavras-chave para a avaliação dos critérios de inclusão e exclusão: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Exclusão de duplicatas</li> <li>● Pertinência: relação do estudo ao tema de interesse da pesquisa (Simbiose Industrial e seu desenvolvimento).</li> </ul>
		No Filtro 2 é efetuada a leitura de introdução e conclusão dos estudos selecionados, além de dar início à qualificação.  Objetivo principal do filtro 2: Identificar estudos com aplicação e caracterização da SI.
	No Filtro 3 é feita a leitura do texto na íntegra e tem como objetivo extrair informações específicas dos estudos relacionadas ao desenvolvimento e caracterização da SI.	

## APÊNDICE B – Protocolo RBS para SI e Agro

Foram identificados vinte e cinco artigos, dos quais foram aproveitados vinte e dois para análise e contribuição do trabalho. A documentação e análise dos dados foram apresentados no capítulo 2 desta tese.

<b>Formulação da Questão</b>	Objetivo	Identificar artigos que utilizaram da SI no setor agroindustrial.
	Problema de Pesquisa	Compreender como a SI foi estudada quando aplicada à agroindústria, quais foram as suas aplicações.
	Referências Primárias	Chertow (2000; 2004; 2007), Ashton (2008) e Fernandez-Mena, Nesme e Pellerin (2016).
	Questão de Pesquisa	Quais são as aplicações na agroindústria?
	Palavra-chave	“ <i>Industrial Symbiosis</i> ” and <i>Agro</i> *
	Base de dados selecionadas	SCOPUS (Endereço virtual: <a href="http://www.scopus.com">http://www.scopus.com</a> ) e Portal de periódicos CAPES.
	Método de Busca	Uso de <i>strings</i> definidos de forma a retornem resultados que contenham a palavra-chave em questão, que por si só compreende todo o tema a ser levantado, nos campos de busca: título, resumo ou palavras-chave. A definição das <i>strings</i> é adequada a cada base de dados pesquisada, uma vez que os mecanismos de busca são diferentes em cada base. Busca no título, palavras-chave e resumo.
<b>Seleção dos Estudos</b>	Critérios de Inclusão e Exclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estar em português ou inglês.</li> <li>● Pertinência: Tema principal relacionado a Simbiose Industrial no setor agroindustrial.</li> <li>● Disponibilidade de arquivo completo para <i>download</i></li> <li>● Serão excluídos os estudos em duplicatas</li> <li>● Serão aceitos apenas artigos científicos.</li> </ul>
	Filtros	Filtro preliminar: os estudos ainda na base de dados são submetidos aos seguintes critérios de inclusão e exclusão: Estudos em língua inglesa e disponibilidade de arquivo completo para <i>download</i> .
		O Filtro 1 consiste na leitura de título, resumo e palavras-chave para a avaliação dos critérios de inclusão e exclusão: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Exclusão de duplicatas</li> <li>● Pertinência: relação do estudo ao tema de interesse da pesquisa (Simbiose Industrial no setor agroindustrial).</li> </ul>
		No Filtro 2 é efetuada a leitura de introdução e conclusão dos estudos selecionados, além de dar início à qualificação.  Objetivo principal do filtro 2: Identificar estudos de SI no setor agroindustrial.
	No Filtro 3 é feita a leitura do texto na íntegra e tem como objetivo extrair informações específicas dos estudos relacionadas a SI no setor agroindustrial.	

## APÊNDICE C – Protocolo RBS para SI e SBA

Foram pesquisados 19 artigos, e após a aplicação dos filtros, 18 artigos foram analisados e utilizados como resultados para a relação entre SI e SBA. A documentação e análise dos dados foram apresentados no capítulo 2 desta tese.

<b>Formulação da Questão</b>	Objetivo	Identificar artigos que utilizaram SI e a SBA.
	Problema de Pesquisa	Identificar as utilizações da SBA na SI.
	Referências Primárias	Chertow (2000; 2004; 2007), Romero e Ruiz (2014) e Batten (2009).
	Questão de Pesquisa	Como a SBA funciona quando aplicada na SI?
	Palavra-chave	“ <i>Industrial Symbiosis</i> ” and (“ <i>Agent based Modelling</i> ” or “ <i>Agent based Simulation</i> ”)
	Base de dados selecionadas	SCOPUS (Endereço virtual: <a href="http://www.scopus.com">http://www.scopus.com</a> ) e Portal de periódicos CAPES.
	Método de Busca	Uso de <i>strings</i> definidos de forma a retornem resultados que contenham a palavra-chave em questão, que por si só compreende todo o tema a ser levantado, nos campos de busca: título, resumo ou palavras-chave. A definição das <i>strings</i> é adequada a cada base de dados pesquisada, uma vez que os mecanismos de busca são diferentes em cada base. Busca no título, palavras-chave e resumo.
<b>Seleção dos Estudos</b>	Critérios de Inclusão e Exclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Estar em português ou inglês.</li> <li>● Pertinência: Tema principal relacionado a Simbiose Industrial no setor agroindustrial.</li> <li>● Disponibilidade de arquivo completo para <i>download</i></li> <li>● Serão excluídos os estudos em duplicatas</li> <li>● Serão aceitos apenas artigos científicos.</li> </ul>
	Filtros	Filtro preliminar: os estudos ainda na base de dados são submetidos aos seguintes critérios de inclusão e exclusão: Estudos em língua inglesa e disponibilidade de arquivo completo para <i>download</i> .
		O Filtro 1 consiste na leitura de título, resumo e palavras-chave para a avaliação dos critérios de inclusão e exclusão: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Exclusão de duplicatas</li> <li>● Pertinência: relação do estudo ao tema de interesse da pesquisa (Simbiose Industrial e SBA).</li> </ul>
		No Filtro 2 é efetuada a leitura de introdução e conclusão dos estudos selecionados, além de dar início à qualificação.
		Objetivo principal do filtro 2: Identificar estudos de SI com aplicação da SBA.
No Filtro 3 é feita a leitura do texto na íntegra e tem como objetivo extrair informações específicas dos estudos relacionadas a SI com aplicação da SBA.		