



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

FAEN - Faculdade de Engenharia

Engenharia de Produção

RENATO ALEXANDRE DE SOUZA JÚNIOR

**SIMULAÇÃO DISCRETA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO SIMBIÓTICO
INDUSTRIAL:**

DINÂMICA DAS BARREIRAS DA IMPLEMENTAÇÃO E DO PROGRESSO

DOURADOS

2022

RENATO ALEXANDRE DE SOUZA JÚNIOR

**SIMULAÇÃO DISCRETA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO SIMBIÓTICO
INDUSTRIAL:
DINÂMICA DAS BARREIRAS DA IMPLEMENTAÇÃO E DO PROGRESSO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Carlos Eduardo Soares
Camparotti

Dourados

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

J99s Júnior, Renato Alexandre De Souza

SIMULAÇÃO DISCRETA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO SIMBIÓTICO
INDUSTRIAL: DINÂMICA DAS BARREIRAS DA IMPLEMENTAÇÃO E DO PROGRESSO
[recurso eletrônico] / Renato Alexandre De Souza Júnior. – 2022.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Carlos Eduardo Soares Camparotti.

TCC (Graduação em Engenharia de Produção)-Universidade Federal da Grande Dourados,
2022.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Simbiose industrial. 2. Análise sistêmica. 3. Simulação discreta. 4. Barreiras de
implementação. 5. Progresso. I. Camparotti, Carlos Eduardo Soares. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

Renato Alexandre de Souza Júnior

**SIMULAÇÃO DISCRETA DE UM SISTEMA DE PRODUÇÃO SIMBIÓTICO
INDUSTRIAL:
DINÂMICA DAS BARREIRAS DA IMPLEMENTAÇÃO E DO PROGRESSO**

Banca Examinadora:

Prof.º. Dr.º. Carlos Eduardo Soares Camparotti
Orientador
Universidade Federal da Grande Dourados

Prof.º. Me. Lucas Rodrigues Deliberador
Avaliador(a)
Universidade Federal da Grande Dourados

Prof.º. Me. Vinícius Carrijo dos Santos
Avaliador(a)
Universidade Federal da Grande Dourados

Dedico este trabalho ao desenvolvimento e fomento industrial no Brasil, que deve buscar acima de tudo ser um motor de geração de bens e serviços e valor para a nação. A busca incessante por performance, melhorias e superação das dificuldades é parte do desenvolvimento, ao qual este trabalho busca atuar como suporte.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me apoiaram nesta jornada acadêmica, incluindo especialmente os professores e orientadores da Universidade Federal da Grande Dourados, que se dedicaram em oferecer os mais variados tipos de recursos para que a o aprendizado fosse o melhor possível.

Em especial agradeço à minha companheira, amiga e namorada Hemanuele que conheço desde os primórdios de nossa jornada universitária.

Em especial agradeço aos meus pais Luciana e Renato, que me proporcionaram educação, amor e disciplina; o que me forneceu uma base sólida para sempre querer aprender e ter humildade.

Em especial agradeço aos meus avós que me ensinaram mais sobre a vida, do que qualquer outra pessoa com tanta experiência.

Por fim, agradeço a Deus, que proporciona a todos a chance de ser uma pessoa melhor.

*“O progresso não está em melhorar o que é, mas em
avançar em direção ao que será.”*

- Khalil Gibran

SOUZA JÚNIOR, R. A. S. **Simulação discreta de um sistema de produção simbiótico industrial**: dinâmica das barreiras da implementação e do progresso. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

RESUMO

Convergir para bons resultados de performance industrial sempre trouxe objeções diferentes como as relacionadas á cadeia de suprimentos, planejamento e controle da produção, recursos humanos e desenvolvimento sustentável. Este trabalho busca em primeira instância identificar os benefícios que a simbiose industrial proporciona e por que buscar seus objetivos, ao mesmo tempo em que identifica as principais barreiras por trás de uma real implementação e para conduzir aos sistemas industriais a adotarem tal prática é feita uma simulação discreta com um modelo conceituado em grandes setores industriais brasileiros extraído com informações de duas relevantes pesquisas sobre as dificuldades de implementação e avaliação da simbiose industrial. De forma clara, os resultados trazem á tona a demonstração analítica de como barreiras e conceitos podem ser identificados e trabalhados para buscar a real implementação da simbiose e conduzir melhores meios para operações industriais. Ao final, é conclusivo que as recomendações apontadas na construção do modelo bem como as ideologias que formam os conceitos apresentados são a base para desenvolver melhor a simbiose industrial.

Palavras-chave: Simbiose industrial. Análise sistêmica. Simulação discreta. Barreiras da implementação. Progresso.

ABSTRACT

Converging towards good industrial performance results has always brought different objections such as those related to the supply chain, production planning and control, human resources and sustainable development. This work seeks, in the first instance, to identify the benefits that industrial symbiosis provides and why to pursue its objectives, at the same time as it identifies the main barriers behind a real implementation and to lead industrial systems to adopt such a practice, a simulation is made. discrete model with a well-regarded model in large Brazilian industrial sectors extracted with information from two relevant studies on the difficulties of implementing and evaluating the industrial symbiosis. Clearly, the results brings the analytical demonstration of how barriers and concepts can be identified and worked on to seek the real implementation of symbiosis and lead to better means for industrial operations. In the end, it is conclusive that the recommendations made in the construction of the model as well as the ideologies that form the concepts presented are the basis to better develop the industrial symbiosis.

Keywords: Industrial Symbiosis. Systemic analysis. Discrete simulation. Barriers of implementation. Progress.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Função SMOOTHI do software Vensim PLE	45
Equação 2 - Fórmula para a variável <i>Cumprimento ODS</i>	54
Equação 3 - Fórmula da a variável <i>Conscientização</i>	55
Equação 4 - Fórmula para a variável <i>Planejamento Estratégico</i>	55
Equação 5 - Fórmula para a variável <i>Suporte Governamental</i>	56
Equação 6 - Fórmula para a variável taxa <i>Simbiose Taxa Sucroenergético</i>	57
Equação 7 - Fórmula para a variável taxa <i>Simbiose Taxa Papel e Celulose</i>	57
Equação 8 - Fórmula para a variável taxa <i>Taxa Entrantes SI</i>	58
Equação 9 - Fórmula para a variável taxa <i>Taxa Saintes SI</i>	58
Equação 10 - Fórmula para a variável estoque <i>Resíduos NR Papel e Celulose</i>	59
Equação 11 - Fórmula para a variável estoque <i>Resíduos NR Sucroenergético</i>	59
Equação 12 - Fórmula para a variável estoque <i>Simbiose Papel e Celulose</i>	60
Equação 13 - Fórmula para a variável estoque <i>Simbiose Sucroenergético</i>	60
Equação 14 - Fórmula para a variável estoque <i>Atuantes em SI</i>	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação percentual de setores no PIB do estado de Mato Grosso do Sul.....	23
Figura 2 - Visão geral do escopo da ecologia industrial.....	28
Figura 3 - Demonstração gráfica dos fatores rígidos de Kosmol e Otto (2020) e o desdobramento em categorias e barreiras	31
Figura 4 - Demonstração gráfica dos fatores flexíveis de Kosmol e Otto (2020) e o desdobramento em categorias e barreiras	32
Figura 5 - Demonstração gráfica dos fatores contextuais de Kosmol e Otto (2020) e o desdobramento em categorias e barreiras	33
Figura 6 - Cadeia de suprimentos tradicional e simbiótica	39
Figura 7 - Fluxograma da metodologia de pesquisa, modelagem e prescrição	42
Figura 8 - Ciclo de vida de um modelo de simulação	44
Figura 9 - Exemplo de variável definida	46
Figura 10 - Exemplo de variável estoque	46
Figura 11 - Exemplo de variável controle de taxas	46
Figura 12 - Exemplo de variável sombra.....	47
Figura 13 - Modelo de simulação dinâmica	63
Figura 14 - Modelo de troca de resíduos segundo a “heurística 3-2”	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico da variável definida Fluxo de Informações.....	64
Gráfico 2 - Gráfico da variável definida <i>Planejamento de Demanda</i>	65
Gráfico 3 - Gráfico da variável definida <i>Risco Econômico</i>	65
Gráfico 4 - Gráfico da variável definida <i>Cumprimento ODS</i>	66
Gráfico 5 - Gráfico da variável definida <i>Conscientização</i>	67
Gráfico 6 - Gráfico da variável definida <i>Planejamento Estratégico</i>	67
Gráfico 7 - Gráfico da variável definida <i>Suporte Governamental</i>	68
Gráfico 8 - Gráfico da taxa do processo de instauração <i>Simbiose Taxa Sucroenergético</i>	69
Gráfico 9 - Gráfico da taxa do processo de instauração <i>Simbiose Taxa Papel e Celulose</i>	69
Gráfico 10 - Gráfico da taxa do processo de execução <i>Taxa Entrantes SI</i>	70
Gráfico 11 - Gráfico da taxa do processo de execução <i>Taxa Saintes SI</i>	70
Gráfico 12 - Gráfico da variável estoque do processo de execução <i>Resíduos NR Sucroenergético</i>	71
Gráfico 13 - Gráfico da variável estoque do processo de execução <i>Resíduos NR Papel e Celulose</i>	72
Gráfico 14 - Gráfico da variável estoque do processo de execução <i>Simbiose Sucroenergético</i>	72
Gráfico 15 - Gráfico da variável estoque do processo de execução <i>Simbiose Papel e Celulose</i>	73
Gráfico 16 - Gráfico da variável estoque do processo de execução <i>Atuantes em SI</i>	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Demonstração dos estágios do modelo de Golev, Corder e Giurco (2014)	29
Tabela 2 - Método utilizado na confecção do modelo híbrido	51
Tabela 3 - Valores alocados para variáveis influenciadores em cada cenário.....	64
Tabela 4 - Valores para <i>Atuantes em SI</i> após 240 períodos.....	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. PROBLEMÁTICA	17
3. OBJETIVO.....	19
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. JUSTIFICATIVA	20
4.1 SIMBIOSE INDUSTRIAL EM SETORES E REGIÕES	22
5. REFERENCIAL TEÓRICO	25
5.1. SIMBIOSE INDUSTRIAL.....	25
5.1.1 Ferramentas SI	26
5.1.2 O Efeito Eco Parques e Ecologia Industrial.....	26
5.1.2.1 Barreiras e Progressos em SI.....	28
5.1.3 Resíduos Industriais	33
5.2 BIG DATA.....	34
5.2.1 Dispositivos <i>IoT e IIoT</i>	35
5.2.1.1 Industrial IoT	36
5.2.2 Gestão da Informação	36
5.3. CADEIAS DE SUPRIMENTOS	37
5.3.1 Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.....	37
5.3.1.1 Planejamento da Demanda	38
5.3.2 Cadeias de Suprimentos Simbióticas	38
5.3.3 Performance e Processos Industriais	39
6. METODOLOGIA.....	41
6.1 ETAPAS DE EXECUÇÃO.....	41
6.2 SIMULAÇÃO.....	42
6.3.1. Simulação de Processos	43
6.3.2 Ciclo do processo de simulação	44
6.3 FUNCIONALIDADE DO SOFTWARE E DESCRIÇÃO	44
6.3.1 Funções e equações	45
6.3.2 Variáveis	45

7. RESULTADOS	48
7.1 MODELAGEM CONCEITUAL.....	48
7.1.1 Setor Sucoenergético	48
7.1.2 Setor Florestal	49
7.2 MODELAGEM DAS BARREIRAS HÍBRIDAS.....	49
7.2.1 Comprometimento ODS	51
7.2.2 Fluxo de Informações	51
7.2.3 Planejamento Estratégico	52
7.2.4 Planejamento de Demanda	52
7.2.5 Suporte Governamental	52
7.2.6 Conscientização	52
7.2.7 Risco Econômico	52
7.3 SIMULAÇÃO DISCRETA.....	53
7.3.1 Conceitualização	53
7.3.1.1 Barreiras Influenciadoras.....	53
7.3.1.2 Barreiras Influenciadas.....	54
7.3.1.3 Controles de Taxas do Processo de Instauração da SI.....	56
7.3.1.4 Controle de Taxas Processo de Execução de SI.....	58
7.3.1.5 Variáveis Estoque do Processo de Instauração da SI.....	59
7.3.1.6 Variável Estoque do Processo de Execução da SI:.....	60
7.3.2 Execução	62
7.4 ANÁLISES E PRESCRIÇÕES.....	73
7.4.1 Considerações factuais	73
7.4.2 Interpretações	74
7.4.3 Prescrições	77
8. CONCLUSÕES	81
8.1 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS.....	81
8.2 LIMITES ENCONTRADOS.....	82
8.3 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	82

1. INTRODUÇÃO

A evolução dos processos industriais e os diferentes métodos que as indústrias adotam em relação a inovação é um marco no século XXI: o surgimento da era do Big Data, indústria 4.0 e outros emergentes tópicos que alavancam os processos industriais serem mais produtivos, eficazes e sem dúvidas, menos poluentes e superiores em performance industrial fazem parte dos marcos atuais da humanidade e que por futuras gerações perpetuará um desenvolvimento mais sustentável partindo de movimentos mais regionais para movimentos globais.

Ao passo de transformações tecnológicas proporcionadas por exemplo pela implementação do IoT, a Simbiose Industrial (SI), ferramenta importante na condução para um desenvolvimento mais sustentável, pode ganhar força para vencer as barreiras de sua própria implementação em parques industriais. É evidente que a SI opera como ferramenta para utilização eficiente dos recursos naturais (a base de qualquer processo produtivo), uma vez que a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) identifica SI como um elemento sistêmico de eco inovação ao mesmo passo que é vital para o crescimento mais verde (OECD, 2010).

A SI traz desde sua formulação o conceito de troca de resíduos entre diferentes indústrias, e assim como aponta Turken e Geda (2020), tais práticas proporcionam vantagens competitivas, onde ao passo das recomendações dos níveis estratégicos, táticos e operacionais, enfatiza que em uma abordagem *top-down* (de cima para baixo), políticas devem ser desenvolvidas evidenciando riscos, benefícios e vantagens por trás de seu desenvolvimento.

Quando idealiza-se algo, podemos não estar aptos a entender em quão impactante seria no sistema em que vivemos, com já pronunciado por Goleman (2014); idealizar um novo produto, tecnologia ou processo fomenta o progresso nas várias faculdades da humanidade, mas apesar de impactos positivos em um curto prazo (pelo menos em um intervalo onde seja previsível identificar o impacto da inovação), no longo prazo pode se tornar uma ameaça à nós mesmos, quanto á isso, auditar, testar e melhorar sistemas se tornam um dos princípios básicos do progresso dos sistemas em que vivemos.

Sabe-se que por exemplo, metade das emissões de CO_2 da indústria se deve á forma como é produzido o papel, cimento, energia e aço, no geral, sistemas que foram projetados sem levar em consideração os impactos negativos que representavam ao planeta; no entanto, melhorar os métodos de produção pode veicular ganhos significativos aos impactos no sistema,

mas melhor do que isso é reinventar, idealizar com uma nova abordagem seja qual for o problema em questão (GOLEMAN, 2014).

2. PROBLEMÁTICA

Em um artigo publicado pelo *World Economic Forum* - WEF (Fórum Econômico Mundial) em 2018 há o apontamento de 11 diretrizes nas quais encorajam tanto os governos como o setor privado a buscarem objetivos mais sustentáveis nos projetos que podem desenvolver ao mesmo passo que podem aumentar o valor inerente do comércio.

Em alinhamento com tal vertente, um projeto dirigido pelo WEF utilizou dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU), como resultado, a análise daquele projeto demonstra que 84% das implementações de IoT estão sendo ou ainda podem ter o potencial de alavancarem os ODS (World Economic Forum, 2018).

Entre as 11 diretrizes, 4 foram identificadas como relevantes para o projeto, e que interligam de alguma maneira IoT e Simbiose Industrial, o documento os organiza em três grandes áreas: A - “Modelos de colaboração e alinhamento de incentivos”, B – “Negócios e Modelos de Investimentos” e C – “Mensuração do Impacto”, sendo objetivo, a seleta das diretrizes levam em conta a mesclagem das áreas, sendo a diretriz 2 da área A, 7 da área B enquanto 10 e 11 da área C:

“2 – Integrar tecnologias e impulsionar o crescimento baseado em casos reais sob parcerias sólidas e colaborativas para superar as limitações da fragmentação;

7 - Desenvolver soluções interindustriais para desbloquear benefícios mútuos e permitir novos modelos de monetização;

10 - Adotar um quadro baseado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU para avaliar potenciais impactos e medir resultados;

11 - Identificar potenciais Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e metas endereçadas pelo seu projeto de IoT e incorporá-los ao design comercial.” (World Economic Forum, p.5, 2018, traduzido pelo autor)

Em estudo dirigido sobre os resíduos agroindustriais, Sepúlveda-Cervantes et al. (2017) demonstra que tais resíduos são muito interessantes para se trabalhar com valor adicionado, especificamente no objeto de estudo, a produção de carvão ativado; gerar mais valor com os resíduos da agroindústria com casca de soja, é completamente suplementar no que se diz quanto aos princípios de simbiose industrial.

Implementar relações simbióticas como processo não é algo trivial, apesar de apontamentos e investigações de estudos como de Golev, Corder e Giurco (2014), onde identifica várias barreiras. Portanto, a implementação de sistemas de informação atua como um

grande suporte facilitador de comunicação e também a difusão do conhecimento do processo. (CHAPELLEVEEN, AMRIT, YAZAN, 2018).

Apesar de inúmeras demonstrações de contextualizações da SI, raros são os casos em que se faz uma abordagem eco tecnológica e socioeconômicas, considerando assim vários aspectos necessários para o entendimento da complexidade que envolve o real funcionamento do sistema simbiótico industrial (KOSMOL, OTTO, 2020). Partindo dos preceitos de abordagem, com uma revisão de literatura sistemática os autores identificaram a existência de potenciais barreiras para implementar a SI.

Em geral é notória a quantidade de projetos e pesquisas que evidenciam os benefícios da simbiose industrial, mas que em síntese, entre outros efeitos de sua real implementação, percebe-se uma certa dificuldade, como constata Golev, Corder e Giurco, (2014) e Kosmol e Otto, (2020). De maneira enfática, Zhe, et al. (2015) aponta que os trabalhos desenvolvidos por vários pesquisadores falham em fornecer as melhorias e passos de implementação da SI de maneira clara uma vez que usam métodos isolados de avaliação.

No Brasil, a forma sigilosa com que as indústrias lidam com informações de resíduos, incertezas sobre taxa de retorno de investimentos, bem como a maneira como os acessos e disposição de informações são ofertados; são fatores classificados como barreiras para uma implementação de sucesso de simbiose industrial (TANIMOTO, 2004).

3. OBJETIVO

Realizar a modelagem e simulação de diferentes cenários buscando a partir de um contexto de sistema produtivo baseado em simbiose industrial e mensurar a performance através da demonstração dos estágios da sinergia industrial alcançados no sistema bem como uma análise prescritiva para futuros projetos de acordo com as dinâmicas observadas entre as barreiras de implementação de progresso do sistema simbiótico industrial.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar as principais barreiras para o desenvolvimento da simbiose industrial.

Demonstrar de acordo com o concreto conhecimento científico, modelos e ações de simbiose industrial já consolidadas.

Enunciar os meios para alcançar as práticas industriais em vista do desenvolvimento de processos industriais simbióticos.

Simular o desenvolvimento de um sistema produtivo de acordo com as barreiras e objetivos explicitados.

Prescrever analiticamente as ações que devem ser tomadas para alcançar os resultados passíveis da SI.

4. JUSTIFICATIVA

Entrevistas conduzidas com empresas que praticam a simbiose industrial mostraram que conhecer os processos e produtos, confiança, possibilidade de valorização regional e a convicção por partes dos gerentes de que a SI gera negócios viáveis e possibilita o desenvolvimento de plataformas e redes de SI com sucesso (BILSEN et al., 2015).

No projeto desenvolvido e descrito por Chertow (2000), a SI apresenta grande potencial de melhoria para o meio ambiente, aumento de eficiência energética, reuso de resíduos que poderiam eventualmente ser descartados, deixando de gerar mais valor às cadeias produtivas. Além da troca de materiais como principal objetivo, dentro dos princípios da SI, há uma troca de energia, materiais e informações e as vantagens vão além, assim como descrito:

“Outras ligações que não sejam baseadas apenas em material, como o planejamento conjunto de redes de transporte, compartilhamento de escritórios, informações ou serviços de segurança, ou trocas menos formais, podem conceber a simbiose industrial, estabelecendo as bases para a cooperação [...]” (CHERTOW, p.330, 2000, traduzido pelo autor).

Com base nas observações feitas sobre o sistema simbiótico industrial e do contemplado sucesso na cidade de Kalundborg, Dinamarca, foi conclusivo para Chertow (p.332, 2000, traduzido pelo autor) determinar que a “cooperação é alcançada através do tempo”, onde possivelmente se alcançam melhores engajamentos no quesito através da troca de informações e efetivos desenvolvimentos dos interessados diretos no processo; baseando-se em tais análises, foram formuladas propostas que sugerem caminhos/cenários para a implementação da simbiose industrial.

Segurança de matéria-prima é um dos pontos que Chertow (2007) aponta como grande vantagem da SI, pois na prática, recursos críticos como água, energia e alguns materiais; é notável que alguns casos de SI surgem devido a pressões regulatórias ou eficiência de recursos, reduzindo emissões e desperdícios.

Um primeiro cenário seria considerar o que Chertow (2000) chama de “sinergia por produto”, no qual um produto em questão serve como âncora do sistema produtivo simbiótico industrial; em uma segunda abordagem, enfatiza-se que o uso das já existentes relações organizacionais entre indústrias sendo assim utilizadas como ponto de partida para uma relação simbiótica dos processos destas, portanto as redes de fornecimento e cadeias de suprimentos industriais sendo conduzidas também para a simbiose industrial.

Em uma terceira e última abordagem, Chertow (2000) faz apologia aos modelos de shopping comerciais onde grandes corporações trazem o desenvolvimento comercial para as

lojas que ali atuam por meio de seu poderio econômico e capacidade de implementação de uma rede de grandes lojas, equivalendo no cenário industrial, o termo “modelo inquilino âncora” é descrito onde uma ou duas indústrias de maior escala proporcionariam avanços da simbiose industrial em um eco parque industrial.

Partindo de análises, Golev, Corder e Giurco (2014) apontam que um modelo de implementação de SI em bom nível de maturidade se dá por primeiramente identificar as principais barreiras e facilitadores do processo, em seguida todos os elementos do processo descritos nos mais variados estágios de transição, e então descrever de forma genérica o modelo para que os reais implementadores usem de maneira prática aplicadas ao contexto inserido e por final o modelo deve ser testado com casos reais a fim de melhorar a eficácia.

Capevelleeven, Amrit e Yazan (2018) demonstram ferramentas para a identificação de que uma provável relação simbiótica, sendo, portanto, o uso de softwares, integração de dados e a adoção de aprendizado inteligente que em alinhamento com Bengtsson e Ågerfalk (2011) afirmam que “os sistemas de informação podem desempenhar um papel central como ferramentas para melhorar os indicadores e rotinas de sustentabilidade, constituindo-se, assim, em importantes agentes de mudança.”

Como aponta Rocha (2019), onde empiricamente identificou os fatores que em projetos de IoT eram motivadores. Elencado entre vários fatores, Rocha (2019) aponta que o fator motivador “planejamento” mostra que avaliar as prioridades estratégicas ambientais se mostram relevantes. De forma prática, como aponta Anagnostopoulos et. al (2018) com o apoio do IoT cidades inteligentes poderão usar dos sensores para um melhor gerenciamento de resíduos, fazendo por exemplo, com que caminhões coletores sejam veiculados em rotas alternativas criadas de acordo com a geração de resíduos reconhecido por IoT.

Apesar de identificar que a demanda estável é uma das barreiras mais encontradas para implementação da SI; Kosmol e Otto (2020), enfatizam que os desafios encontrados em estabelecer demanda e oferta dos produtos são tópicos inerentes ao sistema simbiótico, mas que tal dificuldade exige dos atores do SI melhoria em suas próprias relações (contratos e busca por estabilidade).

Falha nas informações e as dificuldades de implementação inerentes à política do sistema simbiótico industrial são pontos chaves para tornar possível a ascensão do sistema; a busca por estratégias e cooperação entre indústrias, seja em eco parques ou diferentes localizações exigem uma figura central para os apontamentos, assim como é definido por Posh, Agarwal e Strachan (2011); que identificam que o gerenciamento de relações da SI são descentralizadas, de forma bilateral entre as trocas, assumindo portanto que as indústrias não

tomam iniciativas de colaboração e identificação como estratégias além de sua própria organização, na SI pode ser que seja necessário um terceiro agente como ponto de planejamento e coordenação das atividades como, por exemplo, uma agência.

Além disso, o fluxo de informações se faz necessário para o aproveitamento dos benefícios inerentes ao sistema simbiótico industrial; conhecimento e recursos humanos (nível operacional e gerencial) são exemplos de recursos intangíveis apesar de recursos tangíveis (material) serem o principal foco da SI (VEIGA, 2007).

4.1 SIMBIOSE INDUSTRIAL EM SETORES E REGIÕES

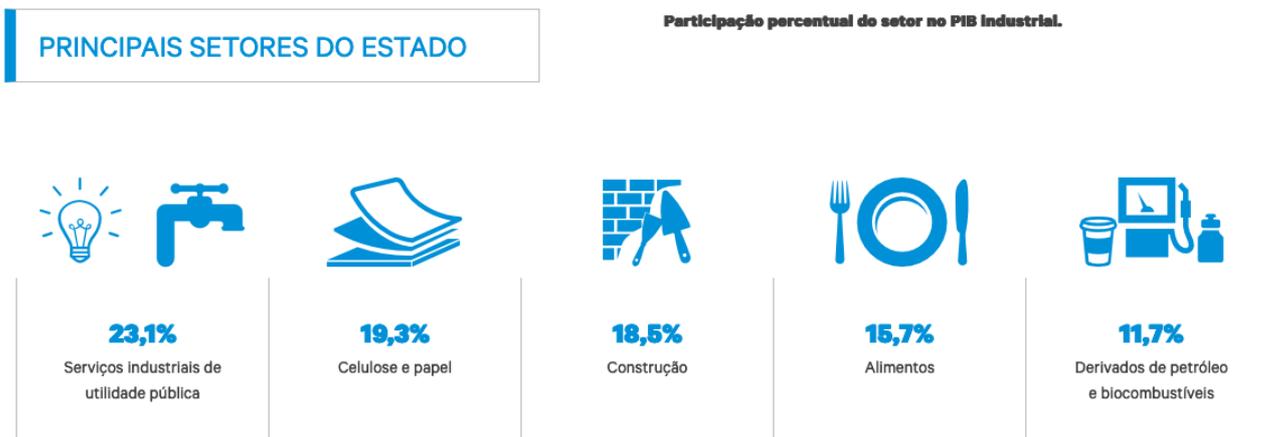
Dentre outros fatores que afetam o desenvolvimento da SI em determinada localidade, é evidente que o tamanho da corporação presente se faz relevante, assim como aponta Menato et al. (2017), em uma pesquisa pelo continente europeu onde ficou evidente que trocas simbióticas eram mais intensas conforme o maior tamanho das empresas.

No Brasil, um relatório de pesquisa produzido pela IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) evidencia com dados de diversas unidades federativas que a indústria sucroalcooleira é em geral a que mais gera resíduos, por outro lado é a que mais reaproveita, sendo utilizado principalmente para produção de energia elétrica a partir da biomassa (MOTA e ALVEZ, 2012).

Bilsen et al. (2015) afirma que todas as indústrias do setor florestal praticam de alguma forma a simbiose industrial seja no reuso dos próprios produtos ou na venda dos resíduos para outras empresas, chegando a opções em que uma empresa terceirizada pode reciclar, tratar ou refinar o material e vender no mercado.

O Estado de Mato Grosso do Sul, por exemplo se destaca no Brasil na produção de papel e celulose, importante área do setor florestal, como apontam os dados da CNI (Confederação Nacional da Indústria) na Figura 1.

Figura 1 - Participação percentual de setores no PIB do estado de Mato Grosso do Sul



Fonte: CNI, 2021

Informações da SEMAGRO (Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar) ([2021]) mostram pela classificação CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas) que em Mato Grosso do Sul, a indústria de alimentos figura a primeira posição quando classificada em quantidade de estabelecimentos; mostrando-se ainda mais importante em complemento a posição que a indústria representa no PIB da unidade federativa estando nas 6 primeiras posições em participação. Entre os principais segmentos industriais de Mato Grosso do Sul, sucroenergético e papel e celulose são um dos maiores em números de trabalhadores (FIEMS, 2019).

Um fator relevante do setor sucroenergético é sua atual capacidade de gerar fonte de energia elétrica a partir do bagaço da cana, o setor se posiciona entre as principais fontes de geração de energia pela biomassa no país atualmente, como aponta a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2020) de que os resíduos da indústria sucroenergética se destacam como fonte de energia para processos e a comercialização de eletricidade.

Como aponta Chertow (2000), usinas elétricas são indústrias âncoras de vários projetos no modelo inquilino âncora, como nos desenvolvidos ecoparques industriais de Red Hills EcoPlex e Londonderry, ambos nos Estados Unidos; qualquer usina elétrica tem potencial de âncora de eco parques industriais.

Ao passo que a preocupação com os recursos hídricos aumenta, a valorização para a água acompanha também a mesma tendência; como aponta uma constatação de Chertow (2007) sobre as plantas de produção de energia elétrica nos Estados Unidos associadas de alguma forma com o desenvolvimento de ecoparques industriais que fazem a utilização de efluentes em milhões de galões por dia para resfriamento de água.

O exemplo segue os princípios de preocupação com os recursos hídricos que o referido modelo de Kalundborg enfrentou e se tornou sucesso como diz Christensen (1998) *apud* Chertow (2007), onde a baixa disponibilidade de água em superfície foi um dos motivos chaves para o desenvolvimento da SI no local.

Usinas sucroenergéticas são consideradas biorrefinarias como apontam Vardanega, Prado e Meireles (2015) e Dallemand e Gerbens-Leenes (2013). É importante notar o reconhecimento dado ao papel de biorrefinarias para SI por pesquisas, como em um escopo de agroindústrias apontado por Camparotti (2020) e Vardanega, Prado e Meireles (2015) destacam que uma maneira de aumentar o desempenho industrial de um sistema ocorre através da presença de biorrefinarias no sistema, uma vez que utilizam resíduos como matérias-primas, permitindo também maior viabilidade econômica quando em sistemas simbióticos.

De maneira relevante, o setor sucroenergético também é muito presente nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Paraná e São Paulo como aponta Silva (2008) e Loyola (2010), além de serem numerosos na unidade federativa, tais empreendimentos são de grande porte e aferiu nas últimas décadas grandes avanços tecnológicos.

5. REFERENCIAL TEÓRICO

5.1. SIMBIOSE INDUSTRIAL

SI é vista como uma ferramenta estratégica para um melhor desenvolvimento econômico, crescimento verde, inovação e uso eficiente de recursos (LAYBOURN, LOMBARDI, 2012). De tal maneira, pode-se dizer que “o crescimento verde significa fomentar o crescimento e o desenvolvimento econômico, assegurando simultaneamente que as riquezas naturais continuam a fornecer os recursos e os serviços ambientais, dos quais depende o nosso bem-estar” (OECD, 2011).

Contudo, também definido por Boons, Spekking e Jiao (2014) que melhor do que ver a SI como algo fixo (como ferramenta não dinâmica) é ver SI como um processo, onde diferentes níveis de conexão são os estágios que as empresas do sistema se movem; e que, portanto, agentes de tal processo estão sempre em constante mudança de níveis assim como ocorre com a produção da economia e os impactos ecológicos conectados pelo fluxo que os conecta.

Em apoio à definição de SI como processo, Lifset e Boons (2011) *apud* Boons, Spekking e Jiao (p.342, 2014, traduzido pelo autor) enfatizam que “SI pode ser definido como o aumento da conectividade qualitativa e quantitativa entre processos industriais co-localizados operados por empresas autônomas.”

Ao passo de definições, a expressão “simbiose” de simbiose industrial, deriva-se do termo comumente usado nas ciências biológicas “relações simbióticas” no qual objetiva expressar que duas ou mais espécies não relacionadas trocam energia, materiais e informações de maneira mutuamente benéfica, baseia-se no subtipo conhecido como mutualismo (MILLER, 1994 *apud* CHERTOW, 2000).

O primeiro passo para planejar e colocar em prática um sistema simbiótico industrial é a visualização do fluxo de materiais (SONG et al., 2017). Com o uso de base de dados, Song et al (2017) e Patricio, Kalmykova e Rosado (2020) estimaram e identificaram relações simbióticas a partir das informações obtidas dos dados. Patricio, Kalmykova e Rosado (2020) evidenciam, portanto, que SI é uma das políticas da economia circular, mas deixam claro seus pontos de vista da dificuldade de implementação de tal política, devido à escassez de dados disponíveis para modelagem; seja por motivos de confidencialidade ou não disponibilização dos dados; o método desenvolvido para idealização de processo simbiótico pelos autores busca contornar tal desafio.

Há um consenso na literatura de que para distinguir a simbiose industrial de outros tipos de trocas é utilizada a “heurística 3-2” como um critério, onde basicamente três diferentes entidades devem estar envolvidas em trocas de dois diferentes recursos; sendo assim o mínimo a se considerar como relações simbióticas industriais (CHERTOW, 2007).

5.1.1 Ferramentas SI

Assim como Song et al. (2017) identifica a necessidade de ferramentas para mapear dados para planejamento, fica mais evidente com o que Chertow (2000) trás sobre ferramentas para desenvolver a SI. Diante de uma análise de 12 projetos em estudos de casos em simbiose industrial, Chertow (2000) reconhece como uma ferramenta significativa na simbiose industrial o “*Input-Output Matching*” para que identifique a combinação de entradas e saídas de várias indústrias e que potencialmente participariam do processo de simbiose industrial.

Trokanas, Cecelja e Raafat (2014) demonstram que a ferramenta *Input-Output Matching* é o processo de fazer a ligação dos perfis dos agentes (indústrias) almejando formar uma relação simbiótica, quantificada pela medida de similaridade como uma função que descreve disponibilidade, localidade e quantidade bem como pela medida de tácito, que engloba associação, relevância e também composição; de tal maneira a ferramenta não só identifica as possíveis ligações diretas entre agentes mas também possibilita sugestão de recursos alternativos ao se identificar tecnologias que processam tipos similares de recursos.

Chertow (2000) evidencia outras duas importantes ferramentas para a simbiose industrial como “*Stake Processes*” e “*Material Budgeting*”; no qual tratam respectivamente de desenvolvimento do ambiente de eco parques industriais, levando-se em consideração o contexto local e sobre o mapeamento dos materiais e energia no fluxo produtivo, considerando “*Material Budgeting*” como uma das bases de análise de processo de simbiose industrial.

A iniciativa da simbiose industrial é um ponto importante quando considerados os tipos de negócios das indústrias do parque industrial, Chertow (2000) descreve a ferramenta “*Stream-Based*”, onde procura-se entender os fluxos principais das indústrias, fazendo indiretamente uma leitura dos recursos utilizados; de maneira complementar a ferramenta de “*Existing Operations*” onde de maneira sintética, busca novos empreendimentos que se agregariam dentro do processo simbiótico industrial.

5.1.2 O Efeito Eco Parques e Ecologia Industrial

Enquanto a SI é reconhecida pelas definições de Trokanas, Cecelja e Raafat (2014) como uma subdisciplina da ecologia industrial; os eco parques industriais são tidos como exemplos concretos e bem-sucedidos da implementação da simbiose industrial, uma vez que as

chaves do sucesso para um processo simbiótico industrial são exatamente as colaborações e as possibilidades sinérgicas que são desempenhadas com a proximidade geográfica entre os atores do processo (CHERTOW, 2000).

Em projeto para analisar a troca de materiais entre indústrias de eco parques industriais promovido pela *Yale School of Forestry and Environmental Studies*, os estudos de diversos escopos e escalas objetivaram principalmente explorar os processos, práticas e potenciais da simbiose industrial mais de perto, levando em conta o contemplado sucesso de Kalundborg. (CHERTOW, 1999).

Como resultado, as taxonomias definidas em 5 diferentes tipos de trocas de materiais são.

- “1) Através de trocas de resíduos
 - 2) dentro de uma instalação, empresa ou organização
 - 3) entre empresas co-localizadas em um eco parque industrial definido;
 - 4) entre empresas locais que não estão co-localizadas
 - 5) entre empresas organizadas “virtualmente” em uma região mais ampla.”
- (CHERTOW, p.1, 1999, traduzido pelo autor).

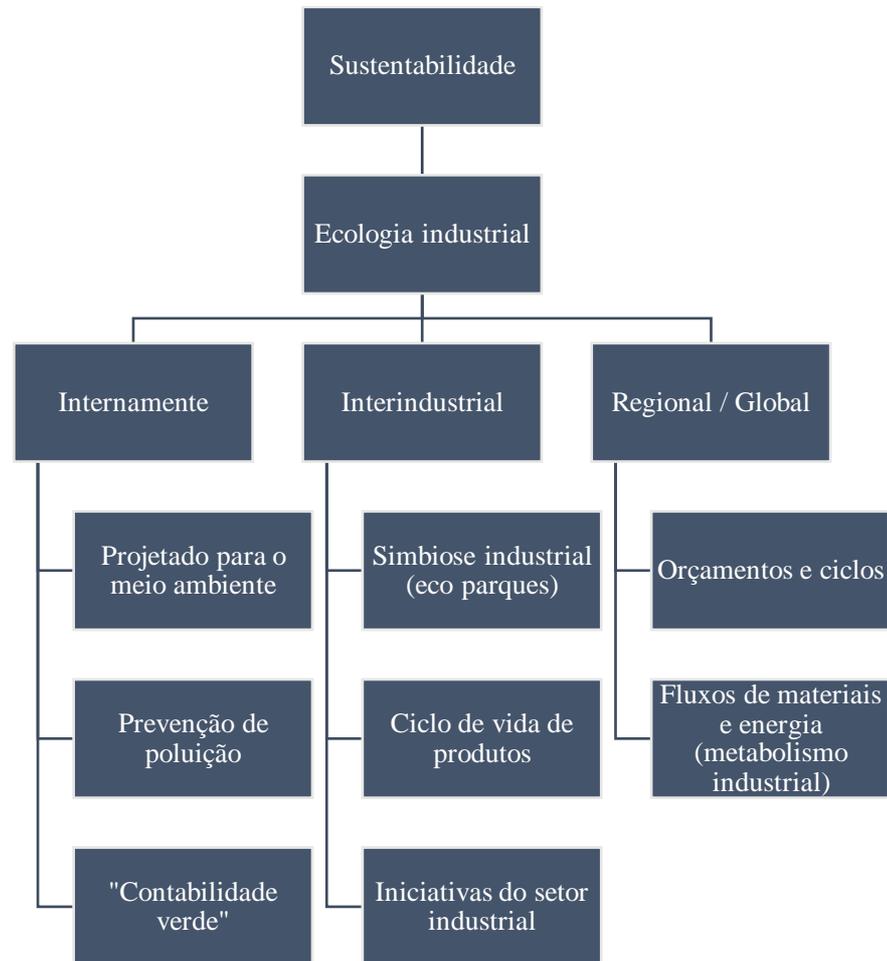
Por definição, Chertow (2000) identifica que dos tipos 3 ao 5 são prontamente reconhecidos como práticas da simbiose industrial, no entanto o tipo 2 considera apenas uma empresa, onde em grandes corporações é reconhecido por Chertow (2000) que geralmente tais se comportam como entidades separadas e assim portanto se aproximam dos conceitos de simbiose industrial.

O tipo 1, no qual predomina simplesmente troca de resíduos de maneira tradicional, por venda ou doação; em geral o objetivo é um destino final ao material/produto em questão por meio de vendedores e compradores, por tais razões, Chertow (2000) considera o tipo 1 como longe das definições de simbiose industrial.

Ao falar sobre Ecologia industrial é natural que pelas definições a SI esteja presente, como apontam os direcionamentos de Chertow (2000), as colaborações entre os atores funcionam engajando cada vez mais atores, portanto, a simbiose industrial acontece de fato no que podemos chamar de “parques industriais”.

A Ecologia industrial possibilita a introdução do aprendizado a partir de ecossistemas naturais, providenciando, portanto, métodos na engenharia para que os impactos ecológicos da atividade humana cheguem aos mesmos níveis que sistemas naturais se sustentam (SAIKKU, 2006). A Figura 2 demonstra em qual escopo a SI se insere dentro da ecologia industrial, a ideologia motriz por trás de seus conceitos.

Figura 2 - Visão geral do escopo da ecologia industrial



Fonte: Chertow (2000), adaptado pelo autor.

É notório o que Chertow (2007) diz sobre o desenvolvimento da simbiose industrial, onde o desenvolvimento sustentável da indústria se deu mais pelo descobrimento de relações simbióticas do que se preocupar em conceber um eco parque industrial.

5.1.2.1 Barreiras e Progressos em SI

Golev, Corder e Giurco (2014) também reconhecem os avanços que a SI pode alcançar, partindo de um modelo inspirado na Grade de Maturidade de Gestão da Qualidade de Crosby (1979), os autores analisaram graus de evolução da SI no qual partem de um estágio 1 onde conceitos de SI não são reconhecidos e muitos dos resíduos não sendo reutilizados, até um estágio 5, onde colaboração contínua, confiança, perspectivas e benefícios de longo prazo são as principais pautas nas relações, no entanto os autores enfatizam; qualquer novo potencial de sinergias a ser identificado se dá primeiramente por analisar dados e informações acerca das trocas de resíduos industriais já existentes no local.

O modelo de Golev, Corder e Giurco (2014) é representado na Tabela 1, demonstrando os 5 graus de maturidade para desenvolver a SI e as barreiras/facilitadores.

Tabela 1 - Demonstração dos estágios do modelo de Golev, Corder e Giurco (2014)

<i>Barreiras SI</i>	<i>Estágio 1 (Sem reconhecimento)</i>	<i>Estágio 2 (Esforço inicial)</i>	<i>Estágio 3 (Ativo)</i>	<i>Estágio 4 (Proativo)</i>	<i>Estágio 5 (Construindo o futuro)</i>
<i>Compromisso com DS (Desenvolvimento Sustentável)</i>	DS não é reconhecido como parte da estratégia e prática de negócios.	As DS fazem parte da estratégia da empresa, mas nenhum indicador é usado para medir o desempenho do SD.	Alguns indicadores DS são usados e relatados, mas há falta de métodos/habilidades comprovadas para padronizar esse processo.	O sistema de indicadores e métodos comprovados são usados para garantir que metas de usúrias por DS sejam efetivamente implantadas em todos os níveis da empresa e alcançadas com sucesso.	Perspectivas e benefícios de longo prazo dominam o processo de tomada de decisão. As indústrias locais assumem cooperativamente a responsabilidade pelas DS regionais.
<i>Informação</i>	Não há troca de informações entre empresas da área. Dados ambientais mínimos são liberados para consulta pública.	A maioria das empresas divulga relatórios ambientais que estão disponíveis publicamente, mas há falta de informações detalhadas sobre os fluxos de resíduos.	O relatório ambiental para o interesse público é uma prática padrão. Alguns relatórios que combinam as informações para ver o "quadro completo" também passam a surgir.	O resumo da situação ambiental geral na área é divulgado regularmente. Existe um mecanismo de coordenação (ou órgão) acordado para o compartilhamento e análise de dados ambientais.	O banco de dados sobre fluxos de resíduos existentes na área é regularmente atualizado e bem mantido. Quaisquer detalhes adicionais podem ser facilmente obtidos através de sistemas de comunicação existentes.
<i>Cooperação</i>	Toda empresa procura apenas por suas oportunidades de reutilização de resíduos. Há uma falta de confiança entre as empresas o que dificulta qualquer colaboração.	A cooperação entre as indústrias acontece predominantemente quando enfrentam sérios desafios em conjunto.	Há um crescente interesse (e confiança) pela cooperação com as indústrias vizinhas. A coordenação dessas iniciativas é predominantemente no nível superior de gestão.	A cooperação entre empresas da área acontece muitas vezes em diferentes esferas. A coordenação dessas iniciativas passa gradualmente do nível superior para níveis mais baixos.	A cooperação entre as empresas é construtiva e acontece regularmente em diferentes níveis. Há um esforço contínuo para melhorá-lo.
<i>Técnico</i>	As oportunidades de reutilização de resíduos fora de uma única empresa não são consideradas valiosas. Minimização de custos para descarte de resíduos é a estratégia preferida.	Algumas oportunidades de reaproveitamento de resíduos entre indústrias podem existir, mas apenas projetos conhecidos e comprovados podem prosseguir com a implementação.	Várias possibilidades de reaproveitamento de resíduos na área foram identificadas, mas ainda não há informações suficientes para prosseguir com esses projetos.	As oportunidades de reaproveitamento de resíduos foram analisadas detalhadamente por especialistas. Os projetos mais promissores foram realizados; outros estão sob investigação mais aprofundada.	Há uma lista de projetos de pesquisa de longo prazo para o reaproveitamento e minimização de resíduos; indústrias se posicionam à implementação como pioneiros. O nível atual de conhecimento técnico chega à beira do progresso científico.

Fonte: Golev, Corder, Giurco (2014), adaptado pelo autor

(continuação)

<i>Barreiras SI</i>	<i>Estágio 1 (Sem reconhecimento)</i>	<i>Estágio 2 (Esforço inicial)</i>	<i>Estágio 3 (Ativo)</i>	<i>Estágio 4 (Proativo)</i>	<i>Estágio 5 (Construindo o futuro)</i>
<i>Regulação</i>	As oportunidades de reaproveitamento de resíduos não são bem reconhecidas na legislação vigente. A regulamentação é mais restritiva, em vez de encorajadora.	A reciclagem é anunciada na legislação como um elemento importante, mas não existe uma regulamentação específica. As decisões geralmente são tomadas caso a caso.	As questões de reciclagem e reuso de resíduos são parte integrante da regulamentação vigente. Vários exemplos conhecidos estão incluídos em documentos oficiais para incentivar a implementação das práticas mais conhecidas de reutilização de resíduos.	A legislação reconhece tanto opções conhecidas quanto potenciais de reutilização de resíduos. Há uma melhoria contínua da regulação para melhores resultados ambientais.	A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos é o principal foco da regulação ambiental. A maioria dos resíduos recicláveis é proibida para descarte (reciclagem obrigatória). O sistema de tributação torna a opção de reutilização fortemente
<i>Comunidade</i>	A comunidade não é reconhecida como parte igual no processo de negociação para o desenvolvimento industrial, que depende principalmente da política governamental e dos interesses da indústria e dos investidores.	A opinião da comunidade pode ser importante em algumas situações; as pessoas são mantidas informadas sobre os aspectos ambientais mais importantes.	Informar a comunidade sobre questões ambientais faz parte da estratégia de negócios. Há um sistema de comunicação bem estabelecido. O feedback e quaisquer reivindicações de membros da comunidade são bem analisados, respondidos e relatados.	A contribuição para as capacidades comunitárias é reconhecida como um dos resultados mais importantes do desenvolvimento industrial na área. Existe um órgão comunitário oficial e negocia efetivamente com indústrias e governo; também pode participar de avaliações ambientais.	A comunidade é um poder ativo no processo de tomada de decisão para o desenvolvimento industrial atual e futuro na região.
<i>Economia</i>	Maximizar o lucro é o principal motor para o desenvolvimento industrial na região.	As indústrias têm um orçamento especial para projetos ambientais para cumprir a regulamentação vigente. Opinião geral é que projetos ambientais soam bem, mas são muito caros.	Há um entendimento de que os desperdícios podem ser um recurso valioso. As informações sobre os custos para o descarte de cada tonelada de resíduos são bem conhecidas e utilizadas na tomada de decisão.	Projetos de reaproveitamento de resíduos provaram sua eficiência. Há uma investigação contínua para novas oportunidades. Benefícios e riscos de longo prazo são considerados prioritários para a aprovação do projeto. Alguns projetos foram aceitos, mesmo que não sejam viáveis de uma perspectiva de curto prazo.	A estreita colaboração com outras indústrias da área é vista como uma vantagem competitiva fundamental. "Com o reaproveitamento de resíduos, lucramos, protegemos nossa base de recursos, minimizamos riscos ambientais e garantimos as DS regionais."

Fonte: Golev, Corder, Giurco (2014), adaptado pelo autor.

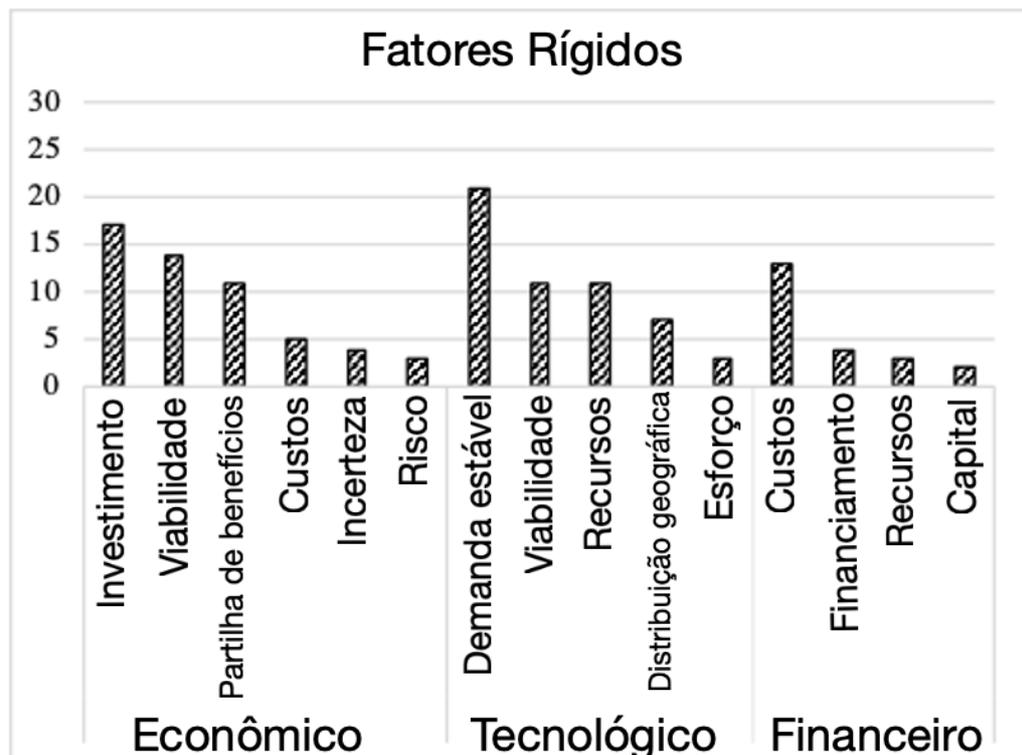
Em busca das barreiras para concepção de relações em SI, Kosmol e Otto (2020) realizaram uma pesquisa e separaram em grupos principais e subdivididos em categorias tais

barreiras, os autores chegaram a resultados que identificam as relações de interdependência entre os fatores (de contexto, rígidos e flexíveis) (KOSMOL, OTTO, 2020).

Nos fatores *hard* (rígidos), foi identificado que o quesito demanda estável é a maior dentre todas as barreiras em aderência às implementações do SI enquanto que em fatores *soft* (flexíveis) se dá o quesito estratégia (evidenciado como aversão à cooperação) e em fatores de *contextual* (contextuais), o quesito falta de suporte com maior barreira. (KOSMOL, OTTO, 2020).

No **Error! Reference source not found.** é possível visualizar a quantidade de barreiras encontradas para fatores rígidos, aqueles que são mais fáceis de quantificar.

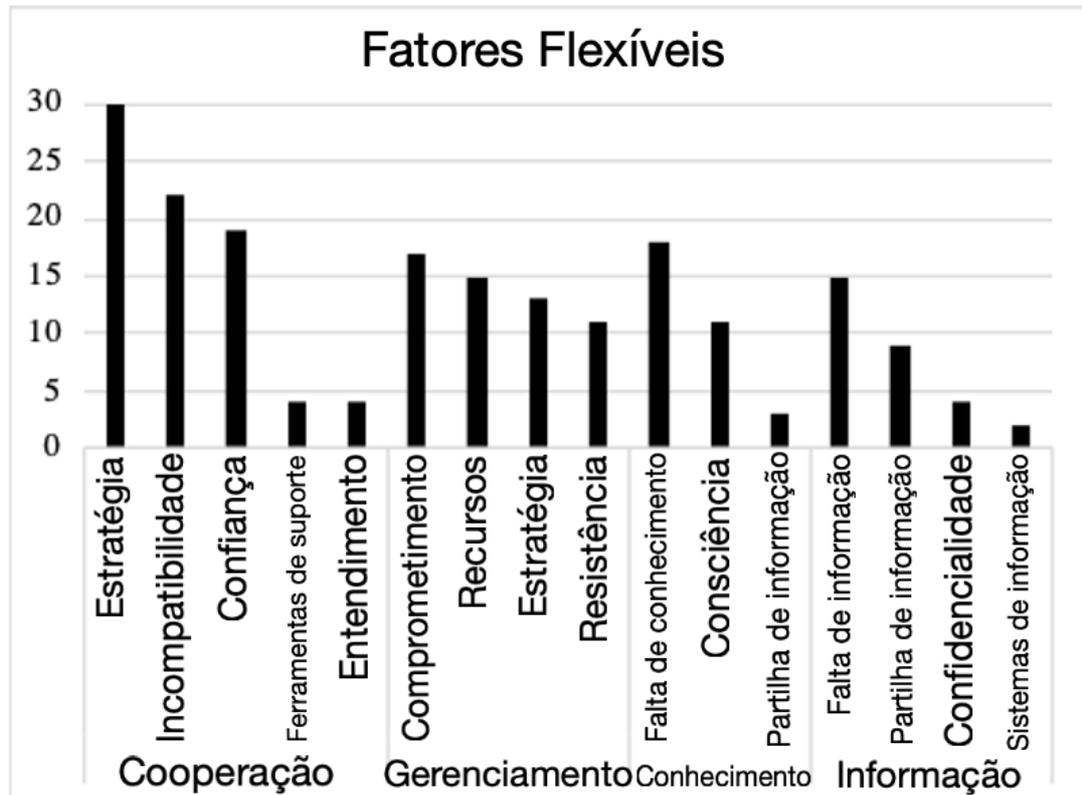
Figura 3 - Demonstração gráfica dos fatores rígidos de Kosmol e Otto (2020) e o desdobramento em categorias e barreiras



Fonte: Kosmol, Otto, (2020, p.6054), adaptado pelo autor

No **Error! Reference source not found.** é possível ver a quantidade de barreiras encontradas para fatores flexíveis, aqueles que são mais difíceis de quantificar.

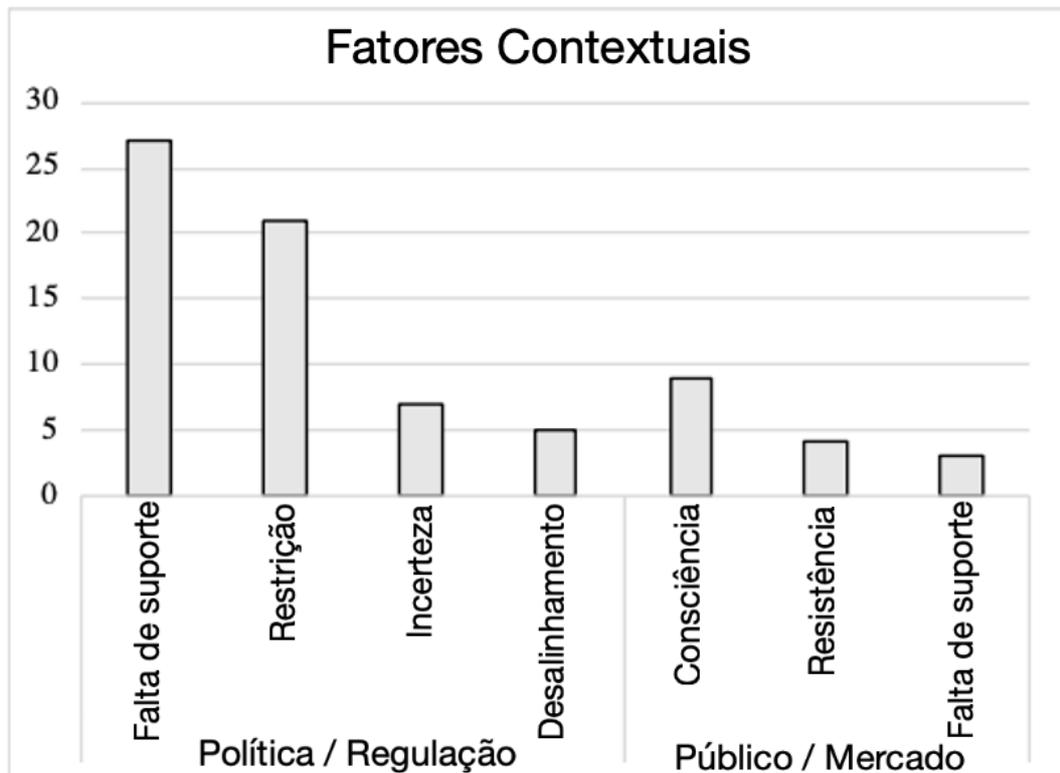
Figura 4 - Demonstração gráfica dos fatores flexíveis de Kosmol e Otto (2020) e o desdobramento em categorias e barreiras



Fonte: Kosmol, Otto, (2020, p.6055), adaptado pelo autor.

No **Error! Reference source not found.** é possível ver a quantidade de barreiras encontradas para fatores contextuais, que representam barreiras envolta do sistema de SI.

Figura 5 - Demonstração gráfica dos fatores contextuais de Kosmol e Otto (2020) e o desdobramento em categorias e barreiras



Fonte: Kosmol, Otto, (2020, p.6056), adaptado pelo autor.

5.1.3 Resíduos Industriais

Geração de resíduos por parte de indústrias é maior do que geração de resíduos na agricultura, construção e demolição, e várias outras áreas como aponta um estudo dirigido pelo Banco Mundial, considerando os resíduos especiais (um contraste com os resíduos produzidos pela população de municípios e países) (KAZA et al., 2018).

E ainda, a média de resíduos produzidos pela indústria chegam a ser aproximadamente 6 vezes maiores do que a média nacional de geração de resíduos na América do Norte (região que mais produz resíduos) de acordo com os dados demonstrados por Kaza et al. (2018) que foram coletados dois anos antes da publicação do relatório.

Os dados extraídos apontam que conforme as receitas de determinada nação aumenta, os resíduos industriais aumentam significativamente (KAZA et al., 2018).

Em projeto buscando evidenciar os benefícios da simbiose industrial; Song et al. (2017) define que a essência por trás das definições de simbiose industrial está a troca de resíduos industriais como recursos.

Novos valores podem ser encontrados utilizando de resíduos e subprodutos dos processos industriais, do mesmo modo em que torna o objetivo de reduzir custos mais viável, se alinhando, portanto, com políticas de redução de desperdício e de alinhamento com o meio ambiente (SONG et al., 2017).

Há uma dificuldade enfrentada em medir e analisar a quantidade de resíduos produzida pelos negócios como aponta um estudo dirigido na Austrália (ALLAN et al., 2013), no entanto, no Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é um dos mais importantes instrumentos de política para o país; exercendo papel de identificar problemas a partir da geração de resíduos sólidos (classificam-se em sólidos, semissólidos, gases e líquidos) e possíveis alternativas ao passo de veicular a implementação de planos e metas para mudanças positivas (BRASIL, 2010, Art. 3º; TEIXEIRA, 2012).

Uma das ferramentas que a PNRS proporciona é o Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) concebido para envolver informações de outros sistemas, paralelo a isso, a Confederação Nacional das Indústrias desenvolveu o Sistema Integrado de Bolsas de Resíduos para fortalecer a sinergia industrial e contribui para a agregação de valor aos resíduos industriais (FIEB, 2014; SINIR, [2021]).

5.2 BIG DATA

Gartner (2021) define que “Big data são ativos de informações de alto volume, alta velocidade e / ou alta variedade que exigem formas inovadoras e econômicas de processamento de informações [...]”. Em concordância, soma-se á definição anterior o que se define por Big Data com base em análises de definições:

“ambiente de dados no qual arquiteturas escaláveis suportam os requisitos de aplicativos analíticos e outros que processam, com alta velocidade, dados de alto volume que podem ter uma variedade de formatos de dados e que podem incluir obtenção de dados de alta velocidade.” (EMMANUEL; STANIER, 2016, traduzido pelo autor).

Sendo o Big Data alinhado com a idéia de indústria 4.0, Lukač (2015) define que a indústria 4.0 liga diretamente os princípios de IoT com os processos industriais; ao passo que se uma há indústria 4.0, tal indústria se alinha diretamente com a quarta revolução industrial, remontando a processos industriais equipados com sensores e unidades de controle inteligentes.

Indústria 4.0 é em essência a integração entre os sistemas de produção e as tecnologias de comunicação e informação ganhando destaque portanto dispositivos de “internet das coisas, em inglês IoT (*internet of things*), formando o aclamado termo Sistemas Ciberfísicos, em inglês

(CPS) (*Cyber-Physical Systems*); derivado de IoT, o termo IIoT (*industrial internet of things*) é um sinônimo para a quarta revolução industrial (DALENOGARE, et al., 2018; JESCHKE, et al., 2017; WANG, TÖRNGREN, ONORI, 2015).

5.2.1 Dispositivos *IoT e IIoT*

O termo “Internet of Things” resumido pelo acrônimo “IoT” foi usada pela primeira vez pelo pioneiro britânico Kevin Ashton em 1999, na ocasião descrevendo que IoT trata-se de um sistema de objetos físicos e que poderiam se conectar á internet por meio de sensores (ROSE, ELDRIDGE, CHAPIN, 2015).

Ao longo do tempo, IoT ganhou força e se tornou mais e mais popular devido á fatores como.

- a) “Conectividade ubíqua
- b) Adoção generalizada de IP (*Internet Protocol*)
- c) Economia da Computação
- d) Miniaturização
- e) Avanços na análise de dados
- f) Ascensão do *cloud computing* (computação em nuvem)” (ROSE, ELDRIDGE, CHAPIN, (p. 8, 2015)).

Para Ning e Liu (2015) IoT é um paradigma que hoje, objetiva atingir um nível de interações entre objetos/máquinas por meio de redes heterogêneas, ao mesmo tempo que, emerge com efeitos transformadores nos campos físicos, ciber e sociais por meio da ciência e tecnologia.

Para Tseng et al. (2018), IoT faz parte das ferramentas da indústria 4.0 na qual também incluem sistemas ciber físicos, computação em nuvem e computação cognitiva; desempenhar com o IoT inovações tecnológicas trará ganhos consideráveis no que tange a reusar, reduzir e reciclar recursos.

Rocha (2019) desdobra em sua pesquisa sobre IoT ciclos de revisões literárias e elencados os termos sinônimos que se desdobram de IoT (“Internet of Things”) como palavra-chave, como resultado sua pesquisa mostra de forma interessante como o IoT pode se desdobrar em vários termos de cunho mais específico para cada assunto como IIoT (*Industrial IoT*), IoE (*Internet of Everything*) entre outros.

Ao mesmo passo que identifica os desdobramentos em sinônimos de IoT, Rocha (2019) reconhece uma importância crescente dada ao tema IoT diante de uma revisão sistemática de artigos publicados.

Huang et al. (2019) enfatizam a importância do IoT na indústria para promover a automação e informatização, sendo assim o IIoT, fonte de informação, colabora com melhoria da redução de custos melhoria da segurança e dos processos industriais possibilitando alavancar o setor industrial a novos patamares de escalabilidade, disponibilidade e integridade.

5.2.1.1 Industrial IoT

Huang et al. (2019) reconhecem a importância da implementação IIoT nas indústrias 4.0, e idealizam por meio de blockchains, uma rede segura e eficiente de informações os resultados obtidos em um sistema Raspberry Pi.

Sistemas de supervisão e controle são denominados SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que são basicamente sistemas de monitoramento e controle de planta industrial ou de equipamentos que englobam setores como água, esgoto, energia, óleo, gás e telecomunicações. (BRANQUINHO et al., 2014). Discussões generalizadas tentam classificar se SCADA faz ou não parte do ecossistema IIoT (BOYES et al., 2018).

5.2.2 Gestão da Informação

Batalha et al. (2021) dedica em seu livro, a gestão e desenvolvimentos de novos produtos, e enfatiza que a gestão da informação deve ser implementada com a finalidade de sustentar cada fase do desenvolvimento de um produto, onde este depende de equipes multidisciplinares e diversas; veicular a informações entre os departamentos de desenvolvimento de produtos de maneira eficaz, conduzirão o processo como um todo a inovações.

É muito claro e enfático ao dizer que a troca de informações de maneira contínua deve ser criada em ambientes organizacionais pela organização/empresa, pois a troca de experiências entre indivíduos/departamentos, reduz graus de incertezas que são comuns nos projetos de produtos (BATALHA et al., 2021).

Em plantas de processamento contínuo, Franchi (2011), diz que variáveis de processos são medidas a tempos de 1 segundo a 5 minutos, com o intuito de garantir a segurança e a continuidade das operações.

Gestão de sistemas de informação são fatores chave no meio empresarial, aumentam a competitividade e acrescentam valor, do mesmo modo em que colaboram com a criação de oportunidades, tendo em vista que a informação é uma necessidade crescente em qualquer setor da atividade humana, a tomada de decisões de uma gestão moderna leva em consideração o máximo de informações possíveis (BRAGA, 2000).

Já no final do século XX, a informação no meio industrial já era reconhecida como um recurso crítico importante para as estratégias a serem adotadas, Sampler (1998); economistas

do passado classificavam informação como custos para as empresas, atividade que suporta atividades, diante dos vários documentos e contas, no entanto, com o avanço das tecnologias, a facilidade de manipular, capturar, transferir e reter informação mostrou um grande avanço em como a informação era vista, se tornado não mais um custo, mas fonte de criação de valor no meio empresarial.

Atitudes e tradições da indústria são elementos interpretados por Grønhaug & Haukedal (1988) *apud* Widén-Wulff (2000) como parte da cultura da informação, que descreve que mesmo empresas de um mesmo ramo diante de um mesmo cenário de risco, com base em suas informações podem tomar decisões completamente diferentes.

A informação é na sua essência, feita de dados (Coelho, 2017), extraídos de alguma fonte, mas seu real valor é visto quando (Widén-Wulff, 2000, traduzido pelo autor) “deve haver um contexto maior para ganhar com a informação”.

5.3. CADEIAS DE SUPRIMENTOS

Com base nas definições, “Cadeias de suprimentos é a rede de organizações envolvidas, por meio de elos *upstream* [a montante] e *downstream* [a jusante], nos diferentes processos e atividades que produzem valor na forma de produtos e serviços nas mãos do cliente final.” (CHRISTOPHER (1998) *apud* STEVENSON, SPRING, 2007, traduzido pelo autor).

Como aponta Turken e Geda (2020), a colaboração que um sistema simbiótico industrial exige de diferentes entidades (indústrias) em atividades resultam em impactos significativos nas estruturas da cadeia de suprimentos e nas relações entre os participantes da SI, ao mesmo tempo que dentre as ações, a cadeia de suprimentos tradicional se expande para incluir fornecedores e clientes simbióticos assim como o compartilhamento de recursos e informações.

5.3.1 Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos

Supply Chain Management (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos - GCS) é definida pelo Conselho Supply-Chain, como "esforço envolvido na produção e entrega de um produto final do fornecedor para o cliente do cliente" (KRANZ, 1996 *apud* LARSON, ROGERS, 1998, p.1, traduzido pelo autor). De mesmo modo, GCS também é definido como:

“o esforço sistemático para fornecer gestão integrada à Cadeia de Valor de Suprimentos, a fim de atender às necessidades e expectativas dos clientes, desde fornecedores de matérias-primas até manufatura e para os clientes finais”. (Voehl, 1998 *apud* Larson e Rogers, 1998, traduzido pelo autor)

É notável os mais variados campos de operações que a cadeia de suprimentos de um negócio têm poder de influência, assim como Cooper (1997, p.5, traduzido pelo autor) identifica

os 7 processos de negócios do GCS: “Gestão de Relacionamento com o Cliente, Gestão Atendimento ao Cliente, Gestão da Demanda, Cumprimento de Pedidos, Gerenciamento de Fluxo de Fabricação, Compras e Desenvolvimento e Comercialização de Produtos.”

Para Larson e Rogers (1998) dentre as esferas de atuação é importante salientar que o planejamento da demanda para diferentes atores da cadeia de suprimentos pode ser diferente, á depender de suas relações com competidores, clientes e fornecedores; essa diferença entre atores da cadeia de suprimentos o que pode acabar gerando, por exemplo, excesso de estoque.

Considerando um sistema de SI, que analogicamente é alinhada com os princípios de ecossistemas, não é apenas uma cadeia de suprimentos, mas sim várias que estão interligadas pela rede de interdependências às quais os atores fazem parte (HERCZEG, AKKERMAN, HAUSCHILD, 2017).

5.3.1.1 Planejamento da Demanda

Planejamento de demanda, um processo fundamental da cadeia de suprimentos de qualquer organização é o que permite uma empresa para projetar demanda futura e personalizar com sucesso a produção da empresa de acordo com essas projeções, parte das ferramentas para executar o planejamento de demanda são gerenciamento do porfolio de produtos, previsão estatística, *demand sensing* (detecção de demanda) e gerenciamento de promoções comerciais (IBM, [2022]).

O processo de planejamento de demanda para o desenvolvimento da SI se mostra de grande relevância pelos impactos que podem causar nas cadeias de suprimentos dos atores. A disponibilidade de resíduo industrial é o resultado de produção empurrada, o que pode ocasionar excessos e faltas devido ao fornecimento de matéria-prima, demanda dos atores e ainda às características sazonais (HERCZEG, AKKERMAN, HAUSCHILD, 2017).

Em linhas gerais, Yazan e Fraccascia (2017) denotam as dificuldades operacionais para SI ocasionada pelo planejamento de demanda; a quantidade de resíduos industriais trocados dependem a seu ponto de vista de 3 pontos específicos:

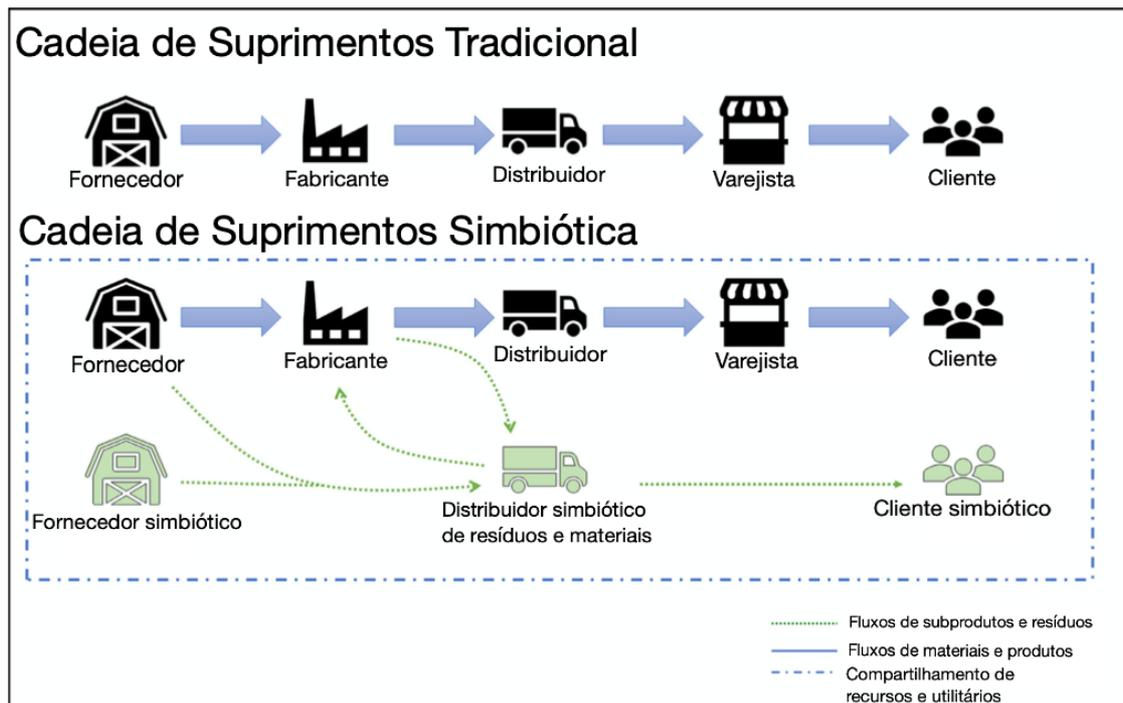
- a) Coeficiente de produção de resíduos;
- b) Coeficiente de requisição de demanda do destinatário dos resíduos;
- c) Demanda dos principais produtos feitos pela companhia.

5.3.2 Cadeias de Suprimentos Simbióticas

Dentro das definições de cadeias de suprimentos, um tema emerge ao mesmo passo que SI ganha visibilidade, como pôde constatar Turken e Geda (2020), de que há uma demanda crescente por cadeias de suprimentos simbióticas.

Em linhas gerais, as cadeias de suprimentos simbióticas são operadas com o fornecedor providenciando os resíduos ou subprodutos para outras entidades, e ao contrário da cadeia de suprimentos tradicional o fornecedor não produz para o comprador; por outro lado, o cliente utiliza da troca simbiótica para suas operações, é relevante perceber que clientes tradicionais podem ser também clientes simbióticos (TURKEN, GEDA, 2020). Veja na Figura 6 a concepção de um modelo sobre uma cadeia de suprimento simbiótica.

Figura 6 - Cadeia de suprimentos tradicional e simbiótica



Fonte: Adaptado pelo autor de Turken e Geda, 2020

5.3.3 Performance e Processos Industriais

Os processos industriais são as atividades inerentes à indústria; como Cravo ([2021]) definiu; “Processos industriais são conjuntos de ações realizadas para transformar a matéria-prima e obter um determinado produto.” Envolvendo por exemplo ações químicas, físicas ou circuitos elétricos; desde clipes de papéis, à aviões colossais, os processos industriais desempenham papel fundamental em suprir os diversos propósitos da sociedade.

Medidas de desempenho provenientes de novas tecnologias são fortemente atreladas à performance industrial; assim como fez (Dalenonagare, et al., 2018) buscando as evidências por trás das melhorias alcançadas com a implementação de ferramentas da quarta revolução industrial por meio de medidas das variáveis, assim como reconhece Pelliccia (2021) os conceitos de digitalização, modelagem e simulação se espalham para diversas indústrias.

Performance industrial é medida por *Key Performance Indicators* – *KPI* fundamentais para medir o progresso e performance de sistemas produtivos, podendo ser usados em diferentes áreas, desde energia e operações até segurança e qualidade; de tal modo indústrias usam de *KPI*'s para medir e melhorar a performance, as razões de baixa performance é o desperdício em diferentes formas (LINDBERG, et al., 2015).

Em exigência a padrões, a ISO 22400 define e especifica os *KPI*'s usados no gerenciamento de operações de manufatura, demonstrando a aplicação metodológica na produção, fórmulas entre outros parâmetros como unidades e dimensões (ISO, 2014).

6. METODOLOGIA

De natureza aplicada e abordagem quantitativa (dados subjetivos da literatura e dados reais de produção), a pesquisa classifica-se de acordo com seus procedimentos técnicos como modelagem e simulação conforme aponta Ganga (2012) em cenários de pesquisa.

Dados parciais obtidos de bases de dados, documentos de entidades oficiais do governo, publicações em revistas entre outros trabalhos acadêmicos são utilizados para fomentar modelos de simulação de um processo simbiótico industrial contextualizado mas eximido de real representação ainda que estando de acordo com dados reais do meio científico; possibilitando a análise do sistema e a prescrição de melhorias para o sistema de produção simbiótico industrial considerando de forma especial as barreiras da SI evidenciadas no presente trabalho.

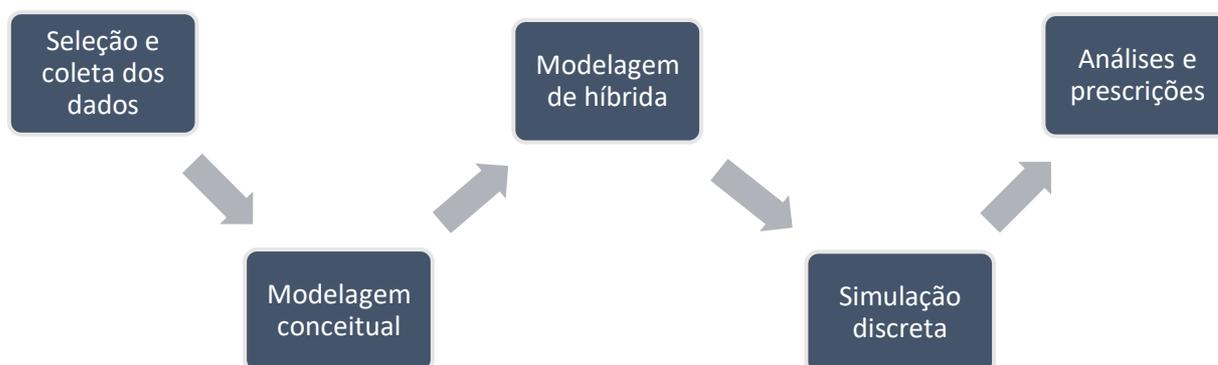
O objetivo da pesquisa se alinha ao tipo axiomática prescritiva, explicando a compreensão e características do modelo desenvolvido, gerando conhecimento sobre variáveis e manipulação (GANGA, 2012).

Uma pesquisa axiomática quantitativa do tipo normativa (ou prescritiva), busca desenvolver normas, políticas, estratégias e ações com a finalidade de melhorar resultados que a própria literatura aponta, podendo, portanto, encontrar uma solução ótima para um novo problema ou então comparar o desempenho de diferentes estratégias em questão (FLEURY et al, 2018). De acordo com Ganga (2012), a pesquisa pode caracterizar-se com propósito preditivo, sendo assim a busca por uma solução de um problema em particular.

6.1 ETAPAS DE EXECUÇÃO

Acompanhe na Figura 7, o método desenvolvido para a elaboração deste trabalho, que inclui a partir dos tópicos elencados na justificativa, referencial teórico e resultados com a elaboração de um plano que trás consigo uma análise sobre um sistema simbiótico industrial do início ao desenvolvimento.

Figura 7 - Fluxograma da metodologia de pesquisa, modelagem e prescrição



Fonte: Autoria própria.

As etapas identificadas no fluxograma são definidas como:

a) Seleção e coleta dos dados: Seleção, pesquisa e classificação dos dados de produção e resíduos de diversos processos industriais, resultando em uma estruturação para a construção e aplicação da modelagem;

b) Modelagem conceitual: Construção do modelo conceitual baseado em abordagem do tipo inquilino âncora apontado por Chertow (2000) de processo produtivo simbiótico industrial baseado nos dados levantados, evidenciando os tipos de indústrias para as trocas simbióticas;

c) Modelagem híbrida: Seguindo os graus de maturidade para avaliação do modelo de SI de Golev, Corder e Giurco (2014). Os parâmetros de avaliação são de um modelo híbrido criado a partir das barreias apontadas por Golev, Corder e Giurco (2014) e Kosmol, Otto (2020) para desenvolver a SI;

d) Simulação Discreta: Execução com valores qualitativos do modelo no Vensim® Personal Learning Edition considerando diferentes cenários de progresso da simbiose industrial;

e) Análises e prescrições: Apontamento das diferenças entre os cenários simulados, descrição dos resultados obtidos e prescrição das estratégias e práticas a serem adotadas.

6.2 SIMULAÇÃO

6.3.1. Simulação de Processos

Há basicamente quatro tipos de softwares de simulação como identifica Rodriguez ([2021]), cada um focando em objetivos específicos:

a) **Análise de Riscos:** Softwares que usam distribuições probabilísticas para determinar potenciais riscos de uma implementação no processo;

b) **Simulação Baseada em Agente:** Sendo o agente qualquer elemento que possa impactar no sistema, softwares desse tipo de simulação evidenciam a compreensão do impacto que o agente possa ter no sistema como um todo;

c) **Simulação de Eventos Discretos:** Detectar eventos específicos em uma organização específica, softwares que desempenham simulação em eventos discretos geralmente são utilizados em ajudar a organização se tornar mais escalável e competitiva;

d) **Simulação de Dinâmica de Sistemas:** Ao contrário dos outros tópicos que olham mais especificamente para o impacto de elementos e eventos no processo ou receita, na dinâmica de sistemas os softwares buscam analisar o sistema como um todo, como exemplo o impacto nos negócios empresariais devido á interrupção de uma linha de produção.

Para Pelliccia et al. (2021) modelagem e simulação de processos têm transformado as indústrias tanto em seu design quanto nos processos de produção em si, ainda mais com os surpreendentes avanços tecnológicos que a indústria 4.0 têm concebido, apesar de reconhecer que funções avançadas dos softwares de simulação tais como definição de lógicas e parâmetros tem uma aplicabilidade não trivial mas um elemento de simulação que ajuda a contornar tal questão é o *co-design* (design participativo), contando com a participação não só de uma pessoa ou equipe especializado (onde normalmente engenheiros são alocados) mas com a colaboração de vários atores para a construção da modelagem.

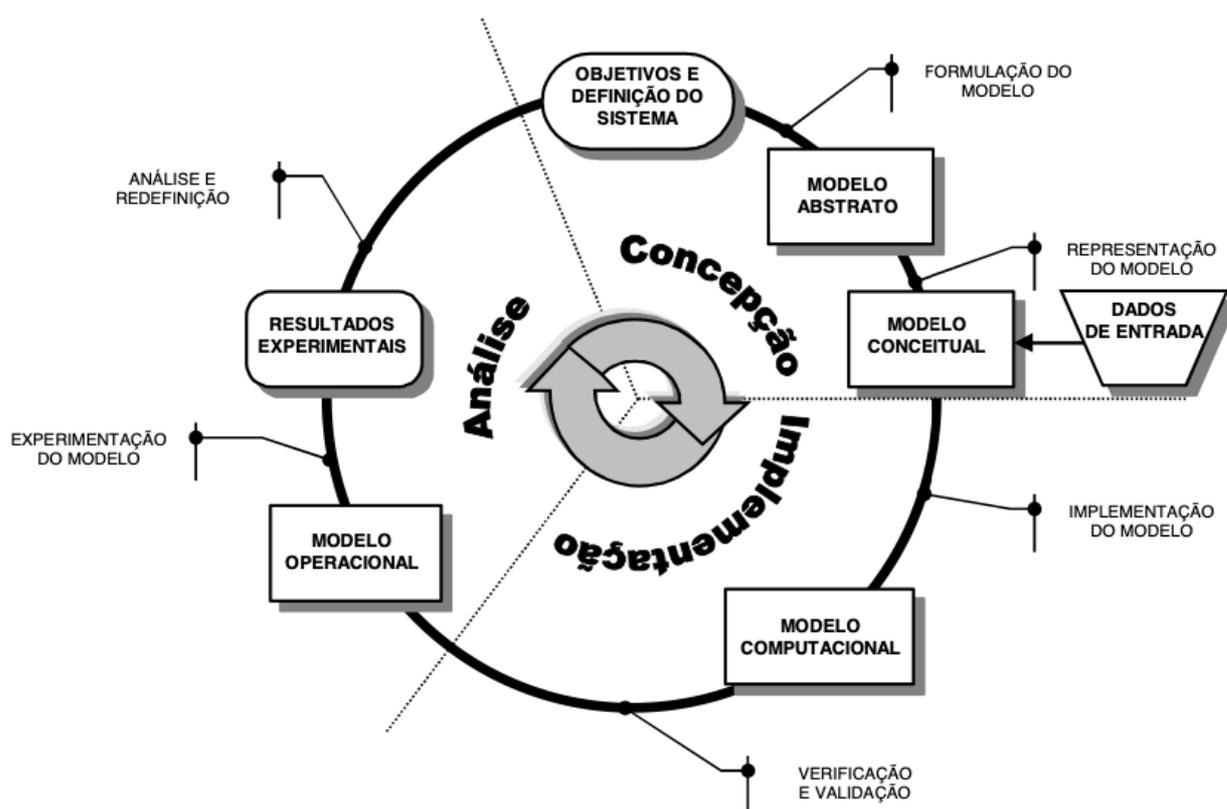
É importante notar que muitos dos modelos de modelagem simulação desenvolvidos na Engenharia de Produção se enquadram com um propósito preditivo, uma vez que partem de uma hipótese que assume que o modelo desenvolvido quantitativamente possa prever e descrever o comportamento de um sistema produtivo de acordo com os parâmetros de entrada do sistema (GANGA, 2012).

Modelagem e simulação computacional de sistemas dinâmicos providenciam novos entendimentos sobre o sistema que não seriam extraídos diretamente do conhecimento científico original (BOSSSEL, 1994).

6.3.2 Ciclo do processo de simulação

Partindo de um modelo abstrato, onde o analista entende com clareza o sistema a ser simulado e os objetivos para a resolução do problema, a representação do modelo conceitual deve ser desenvolvida evidenciando o entendimento do modelo; o modelo computacional é então obtido pela implementação do modelo no computador, utilizando-se tanto simuladores comerciais quanto linguagens de simulação, finalmente é obtido através do modelo operacional, com várias rodadas de simulação e sendo analisado e documentados com técnicas estatísticas; recomendações são gerados, porém se os resultados não são satisfatórios, o ciclo é reiniciado com aponta a **Error! Reference source not found.**

Figura 8 - Ciclo de vida de um modelo de simulação



Fonte: (CHWIF, 1999, p.10)

6.3 FUNCIONALIDADE DO SOFTWARE E DESCRIÇÃO

Para modelagem e simulação foi utilizado o software Vensim® Personal Learning Edition descrito como “é um software de dinâmica de sistema totalmente funcional, gratuito para uso pessoal e educacional” (VENTANA SYSTEMS, 2015, traduzido pelo autor). A modelagem feita no software pode ser feita via programação ou por uma interface gráfica,

usando da inserção de equações e funções *built-in*; teste de sensibilidade, algoritmos para calibração do modelo e análise de causa são algumas dentre vários outros parâmetros que o software oferece (VENTANA SYSTEMS, Vensim® Brochure, 2015).

O software oferece recursos suficientes para executar modelos em simulação discreta e comparar resultados, a seguir está elencada a explanação dos elementos utilizados no modelo de simulação e que foram relevantes para sua construção e interpretação.

6.3.1 Funções e equações

As equações utilizadas podem ser inseridas em qualquer variável definida, variável estoque ou controles de taxas, elas ditam o comportamento do componente inserido no modelo a cada período simulado, as funções podem incluir valores de outras variáveis ou valores constantes.

A função *SMOOTH* foi utilizada no modelo com o propósito de simular o tempo de reação aos resultados, Ventana Systems, Vensim Help ([2015]) a descreve como a função que é geralmente usada para tomar médias de tempo e representar expectativas; a função retorna um valor x em um período estimado t e partindo de um valor inicial i .

Equação 1 – Função SMOOTH do software Vensim PLE

$$SMOOTH = (x, t, i) \quad (1)$$

6.3.2 Variáveis

As variáveis se apresentam no modelo como basicamente vários tipos, em acordo com as nomenclaturas definidas por Ventana Systems, Vensim Help ([2015]) sobre as variáveis. As setas demonstram as relações que as variáveis exercem no modelo, setas saindo da variável indicam que seu valor está fazendo parte de outro elemento e o contrário acontece para setas que entram em algum elemento.

a) Variáveis definidas: onde apresentam-se com apenas texto e em sua volta setas demonstram onde seus valores influenciam (seta apontando a outro elemento) ou recebem influência (seta indicando ao elemento), essas variáveis podem ainda ter suas subclassificações como exemplo quando são definidas apenas com valores constantes (variável constante) ou valores de outras variáveis (variável auxiliar) entre outros tipos. As variáveis definidas apenas apresentam esta nomenclatura para diferir das variáveis sombras, todas as outras variáveis são definidas. Acompanhe o exemplo de variável definida;

Figura 9 - Exemplo de variável definida



Fonte: Autoria própria.

b) Variáveis estoque: Apresentam-se com textos dentro de uma caixa com contraste gráfico sobre o modelo, esse tipo de variável registra valores recebidos de taxas de controle ou outras variáveis a cada período de simulação. Acompanhe o exemplo de variável estoque;

Figura 10 - Exemplo de variável estoque



Fonte: Autoria própria.

c) Variáveis de controle de taxas: Apresentam-se ao lado do desenho simbólico de uma válvula de registro, esse tipo de variável emite ou recebe valores no instante do período de simulação sua função apresentar uma taxa dos valores que entram ou saem da variável. Acompanhe o exemplo de variável controle de taxas;

Figura 11 - Exemplo de variável controle de taxas



Fonte: Autoria própria.

d) Variáveis sombras: apresentam-se com textos e apêndices “< >” em sua volta, esse tipo de variável identifica a variável definida de mesmo nome, e é muito utilizada para facilitar o modo de visão do sistema, evitando setas cruzando pelo modelo. Acompanhe o exemplo de variável sombra.

Figura 12 - Exemplo de variável sombra



Fonte: Autoria própria.

7. RESULTADOS

7.1 MODELAGEM CONCEITUAL

De maneira factual, os setores sucroenergético e florestal no Brasil representam fatia importante das indústrias geradoras de resíduos e do modo em que atuam frente á questões de reaproveitamento de resíduos e no desenvolvimento socioambiental, são setores com forte preponderância na região centro-sul do Brasil para desenvolver melhores as relações de SI.

O modelo conceitual representa uma abordagem da SI com as definições Chertow (2000) para o modelo “inquilino âncora”; sendo elencadas dois setores industriais com unidades industriais de grandes proporções, com geração considerável de resíduos e como no caso do setor sucroenergético, plantas industriais atuando como usinas de geração de energia elétrica; por outro lado o setor de papel e celulose já praticando algum tipo SI (BILSEN et al., 2015; EPE, 2020).

O modelo incorpora o conceito de que os setores abordados tem poderio necessário para alavancar relações simbióticas nas regiões em que atuam; os princípios da heurística 3-2 são seguidos no modelo considerando que a relação simbiótica aconteça entre outras entidades fora do escopo de análise.

Alguns dados relevantes para o conceito foram levantados para evidenciar a importância de práticas mais sustentáveis na produção industrial e para o apoio a análise do contexto em que este trabalho evidencia uma possível prática de SI.

7.1.1 Setor Sucroenergético

O setor sucroalcooleiro representa tanto as indústrias de açúcar ou álcool ou ainda ambas produções; dados da BioSul (2021) apontam que em Mato Grosso do Sul, a indústria tem gerado cerca 1.847.574 t de açúcar, 2.869.432m³ de etanol e 2.304 GWh de energia elétrica exportada apenas na safra 2020/2021.

É importante salientar a nomenclatura utilizada na literatura, como aponta uma redação da Agrishow Digital (2019) sobre as razões pelo qual “setor sucroalcooleiro” também é conhecido como “setor sucroenergético”; bioeconomia, transição energética e novas tecnologias deram origens às grandes revoluções do setor.

Entre os principais resíduos dos processos industriais da indústria sucroenergética estão a torta de filtro, bagaço, cinzas, vinhaça e melaço; maneiras viáveis para destinar resíduos gerados no processo já são comprovadas como a fabricação de concreto com as cinzas e o bagaço podendo ser destinado a indústria de papel e cosméticos (ASSAD, 2017).

7.1.2 Setor Florestal

O setor florestal analisado em específico caracteriza-se pelas indústrias de papel e celulose pelo forte aporte industrial no contexto da região em evidência, o setor produz majoritariamente tanto celulose (fibras longas ou curtas) e pasta de rendimento (produto base para produção de papel) (FIEP, [2021]).

Dados da associação Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2021) apontam que apenas no primeiro trimestre de 2021 foram produzidas cerca de 5.469 t de celulose e 2.618 t no Brasil, no estado de Mato Grosso do Sul especificamente a produção de papel e celulose representou 11% da produção nacional, o estado de São Paulo representou no biênio 2017-2018 cerca de 32,2% de toda a produção no país (FIEMS, 2021).

Entre os principais resíduos dos processos industriais, para processos Kraft (método de produção) da indústria de papel e celulose estão grits, dregs, lama de cal, casca, serragem, rejeitos, cinzas e lodos (CETESB, 2008).

Maneiras viáveis de destinação para os resíduos já são comprovadas como a produção do bioetanol pela realização da biotransformação do lodo branco; pesquisas ainda demonstraram possíveis melhorias no processo industrial com fungos que atuam na biotransformação do resíduo (VILAS BOAS, 2016).

Em revisões bibliográficas, Marques et al. (2014) cita como dentre os principais resíduos, dregs podem ser destinados para produção de cerâmica industrial, agente neutralizante de efluentes ácidos e para situações diversas, a substituição do calcário.

7.2 MODELAGEM DAS BARREIRAS HÍBRIDAS

A construção de um modelo híbrido para avaliar a modelagem conceitual de simbiose industrial parte do projeto de outras duas principais pesquisas conduzidas no âmbito da SI.

Do projeto de Golev, Corder e Giurco (2014) em que são elencadas as barreiras de SI e um plano de avaliação do estágio atual de um sistema SI, o modelo híbrido herdou tais etapas de avaliação do modelo conceitual, que foram baseadas pelos autores no modelo de Graus de Maturidade de Crosby (1979); a herança das barreiras apontadas por Golev, Corder e Giurco (2014) também foram escolhidas com base em critério de inter-relação com algumas das barreiras apontadas por Kosmol e Otto (2020).

Kosmol e Otto (2020) apontam fatores que por sua vez se desdobram em categorias e assim em barreiras para o desenvolvimento da Simbiose Industrial. Com base na inter-relação

feita das barreiras de Golev, Corder e Giurco (2014) com as categorias de Kosmol e Otto (2020); foi apontado para a construção das barreiras do modelo híbrido, a barreira mais relevante dentro das categorias de Kosmol e Otto (2020) com a barreira indicada por Golev, Corder e Giurco (2014), surgindo assim uma nova barreira híbrida; por fim apenas foi identificado o fator aos quais Kosmol e Otto (2020) identificaram a barreira e sua respectiva categoria.

O modelo permite não apenas identificar as barreiras relevantes, mas trazer os conceitos apontados pelos autores que sejam mais relevantes para prover progresso sobre as barreiras da SI, uma vez que identifica as barreiras de duas relevantes publicações sobre as dificuldades de implementação da SI.

É importante considerar no modelo que apesar de evidenciadas as barreiras, o modelo de Golev, Corder e Giurco (2014) evidenciam graus de maturidade, ou mais compreensivamente a evolução da SI frente às barreiras ao passo que nas pesquisa realizada por Kosmol e Otto (2020), ficam evidentes as várias barreiras encontradas para o desenvolvimento da SI; de forma metódica, os princípios que a proposta do modelo híbrido apresenta, busca desempenhar uma avaliação de um sistema simbiótico industrial em vista do que tais autores tem apontado como dificuldade.

Portanto, a partir da análise conceitual das definições às barreiras no qual os autores apresentaram; o modelo híbrido foi construído tendo como base as definições e o respectivo nome das barreiras para o modelo híbrido, foram definidos como o mais relevante para descrever os conceitos apresentados pelos autores.

O modelo desenvolvido é identificado na coluna “Barreiras Híbridas” da Tabela 2 e contempla as informações macro que Kosmol e Otto (2020) deram para cada categoria; os fatores, para os fatores *soft* (flexíveis) são tidos como barreiras difíceis de quantificar e os fatores *hard* (rígidos) são tidos como barreiras fáceis de quantificar. Fatores *contextual* (contextuais) são tidos como as barreiras que estão envolta do sistema de SI.

Tabela 2 - Método utilizado na confecção do modelo de barreiras híbridas

Barreiras e possibilitadores Golev, Corder e Giurco (2014)	Fatores Kosmol e Otto (2020)	Categorias Kosmol e Otto (2020)	Barreiras mais relevante Kosmol e Otto (2020)	Barreiras Híbrida
Compromisso com DS	<i>Flexíveis</i>	Gerenciamento	Compromisso	Comprometimento ODS
Informação	<i>Flexíveis</i>	Informação	Falta de Informação	Fluxo de Informações
Cooperação	<i>Flexíveis</i>	Cooperação	Estratégia	Planejamento Estratégico
Técnico	<i>Rígidos</i>	Tecnológico	Estabilidade da demanda	Planejamento de Demanda
Regulatório	<i>Contextuais</i>	Política/Regulação	Falta de Suporte	Suporte Governamental
Comunidade	<i>Contextuais</i>	Público/Mercado	Conscientização	Conscientização
Econômico	<i>Rígidos</i>	Econômico	Investimento	Risco econômico

Fonte: Autoria própria.

Em seguida são apresentadas as descrições das 7 barreiras do modelo híbrido baseadas nos apontamentos de Golev, Corder e Giurco (2014) e Kosmol e Otto (2020).

7.2.1 Comprometimento ODS

A barreira de comprometimento representa o nível de compromisso que uma indústria assume na mudança de seus métodos para o desenvolvimento mais sustentável das práticas exercidas; Interesse, engajamento e compromisso com os ODS são os termos chaves utilizados, a barreira espelha-se na dificuldade encontrada para a execução da organização estratégica, metas e medidas de performance fazerem parte do portfólio do gerenciamento das indústrias em relação às ODS.

7.2.2 Fluxo de Informações

A barreira de fluxo de informações representa a dificuldade que indústrias tem de trocarem informações acerca de seus processos industriais com potenciais parceiros de SI e entre os atuais agentes do sistema; métodos de colaboração, falta de informação relevante e fluxos ineficientes de informação são os principais apontamentos feitos.

7.2.3 Planejamento Estratégico

A barreira de planejamento estratégico descende da barreira mais apontada por Kosmol e Otto (2020) em fatores flexíveis que demonstra relação à barreira cooperação de Golev, Corder e Giurco (2014); trabalhar cooperativamente, aversão a iniciativa e processos de decisões baseadas em múltiplos atores são os pontos principais apontados que evidenciam a barreira; como evidencia a literatura, esta barreira representa de maneira implícita a falta de pontos centrais de cooperação como agências ou conselhos interindustriais.

7.2.4 Planejamento de Demanda

A barreira de Planejamento de Demanda demonstra a dificuldade que as indústrias tem de alinhar a demanda de seus processos com as entradas do processo de SI; correlacionado à estabilidade da demanda, a barreira mais apontada por Kosmol e Otto (2020) em fatores rígidos que demonstra relação com a barreira de técnico de Golev, Corder e Giurco (2014); demonstrando a dificuldade da condução da SI em relação ao conhecimento técnico ao passo de que a defasagem de quantidade, qualidade e energia bem como o risco de estabilidade são os pontos principais em comum, pesquisas organizacionais, consultorias e ferramentas de gestão como S&OP (*Sales and Operations Planning*) podem servir de apoio à superação da barreira.

7.2.5 Suporte Governamental

Suporte governamental representa a falta de incentivos governamentais para SI e políticas públicas que incentivam o desenvolvimento de SI. É a barreira mais apontada por Kosmol e Otto (2020) em fatores contextuais; fatores regulatórios, impostos, taxas sobre resíduos e incentivos são os pontos principais.

7.2.6 Conscientização

Conscientização é a barreira elencada para representar o nível de conscientização da comunidade acerca dos temas que SI tem contato direto como desenvolvimento sustentável, educação ambiental e informações sobre os impactos ambientais, falta de suporte da comunidade é um fator relevante; o apoio à novas sinergias por parte da comunidade torna o vencimento da barreira fundamental.

7.2.7 Risco Econômico

Risco econômico identifica os riscos dos investimentos feitos pelos atores do processo de SI, conflitos de interesse que se resumem a custos, viabilidade na implementação dos projetos, altos graus de incerteza e finanças são apontamentos feitos que identificam a barreira.

7.3 SIMULAÇÃO DISCRETA

7.3.1 Conceitualização

A simulação do sistema SI surge da implementação da modelagem híbrida sobre o modelo conceitual; a simulação é a etapa de execução do modelo construído no software Vensim® Personal Learning Edition, buscando evidenciar o desenvolvimento que SI alcançaria com base nas barreiras apontadas pela modelagem híbrida.

As barreiras para o modelo foram, portanto, categorizadas entre barreiras influenciadoras e barreiras influenciadas, a elaboração das barreiras no modelo foram constituídas de acordo com as definições obtidas do modelo híbrido, suas influências sobre outras barreiras são justificadas por meio da interpretação das definições que Golev, Corder e Giurco (2014) proporcionaram para suas barreiras e de acordo com apontamentos da Justificativa.

O modelo mostra, portanto, quais barreiras de acordo com suas influências devem ser manipuladas (variáveis definidas) para atingir os resultados, apesar disso, a superação de todas as barreiras exige um esforço conjunto para que seus valores se tornem mais positivos e funcionem na perspectiva da simbiose.

A formulação das barreiras segue um mesmo padrão de valores qualitativos com valores recebendo uma variação máxima de 0 a 1 para as barreiras influenciadoras, denotando, portanto, o não emparelhamento com qualquer unidade de medida, e permitindo assim a ponderação do peso de cada variável no modelo em forma de taxas com valores normalizados.

7.3.1.1 Barreiras Influenciadoras

a) Planejamento de Demanda:

- influencia diretamente a barreira *Planejamento Estratégico* e os controles de taxas *Simbiose Taxa Sucroenergético* e *Simbiose Taxa Papel Celulose*;
- sua concepção de influências seguem os princípios ocasionados pela falta de planejamento e controle operacional, tático e estratégico, para ter demanda estável é necessário que um fluxo mínimo de informações operante esteja implementado, diante disso, suas influências sobre os controles de taxas dos setores industriais dependem exclusivamente de algum valor por parte de *Fluxo de Informações*, quanto maior seu valor, melhor para o desenvolvimento da SI.

b) Fluxo de Informações:

- influencia diretamente a barreira *Planejamento Estratégico* e os controles de taxas *Simbiose Taxa Sucroenergético* e *Simbiose Taxa Papel Celulose*;

– sua concepção de influências segue os princípios do compartilhamento de informações entre os atores de SI, o fluxo de informações se torna crucial para executar o processo de SI ao passo de que planejamento e controle da produção das indústrias atuantes necessitem de meios para executar o planejamento corretamente, diante disso, suas influências sobre os controles de taxas dos setores industriais dependem exclusivamente de algum valor por parte de *Planejamento de Demanda*, quanto maior seu valor, melhor para o desenvolvimento da SI.

c) Risco Econômico:

– influencia diretamente as barreiras *Planejamento Estratégico e Cumprimento ODS* e os controles de taxas *Simbiose Taxa Sucroenergético e Simbiose Taxa Papel Celulose*;

– sua concepção de influências segue os princípios da viabilidade econômica de projetos; retorno dos investimentos feitos pelos atores resumem-se a esta barreira, para tanto, os valores de influência se fazem presentes em quase todos os elementos do modelo de simulação, quanto menor seu valor, melhor para o desenvolvimento da SI.

7.3.1.2 Barreiras Influenciadas

a) Cumprimento ODS:

– recebe influência direta da barreira Risco Econômico e influência direta dos estoques *Simbiose Sucroenergético e Simbiose Papel Celulose*;

– sua concepção de influências seguem os princípios de engajamento e performance entre os atores de SI em vista das ODS principalmente aos objetivos que tangem seu cumprimento em virtude das práticas de simbiose industrial;

– sua formulação representa a taxa da prática de simbiose para ambos os setores dividida sobre a influência do risco econômico, como na formulação.

Equação 2 - Fórmula para a variável *Cumprimento ODS*

$$\text{Cumprimento ODS} = \frac{\text{Simbiose Sucroenergetico} + \text{Simbiose Papel e Celulose}}{\text{Risco Econômico}} \quad (2)$$

b) Conscientização:

- recebe influência direta da barreira *Cumprimento ODS*;
- sua concepção de influências seguem os princípios de envolvimento da comunidade e das indústrias na importância das práticas de SI, e influenciam diretamente na participação do apoio governamental;
- sua formulação representa o valor da influência dos cumprimentos das ODS.

Equação 3 - Fórmula da a variável *Conscientização*

$$\text{Conscientização} = \text{Cumprimento ODS} \quad (3)$$

c) Planejamento Estratégico:

- recebe influência direta das barreiras *Cumprimento ODS*, *Estabilidade da Demanda*, *Fluxo de Informações* e *Risco Econômico*;
- sua concepção de influências seguem os princípios de cooperação, portanto o compartilhamento de informações entre atores e proatividade para desenvolvimento são concebidos na barreira;
- sua formulação representa a soma das duas barreiras influenciadoras positivas e o cumprimento das ODS em razão do risco que existe.

Equação 4 - Fórmula para a variável *Planejamento Estratégico*

$$\text{Planejamento Estratégico} = \frac{\text{Cumprimento ODS} + \text{Estabilidade da Demanda} + \text{Fluxo de Informações}}{\text{Risco Econômico}} \quad (4)$$

d) Suporte Governamental:

- recebe influência direta das barreiras *Conscientização* e *Planejamento Estratégico*;

- sua concepção de influências seguem os princípios de que o governo atue de maneira mais enfática no desenvolvimento da SI quando questões estratégicas e desenvolvimentos da sociedade (das quais englobam os cumprimentos das ODS) se tornem importante o suficiente para agir;
- sua formulação representa a soma das barreiras *Planejamento Estratégico* e *Cumprimento ODS*.

Equação 5 - Fórmula para a variável *Suporte Governamental*

$$\text{Suporte Governamental} = \text{Conscientização} + \text{Planejamento Estratégico} \quad (5)$$

Ao analisar o comportamento do modelo, as análises se voltam para os controles de taxas que ditam o quanto cada variável do tipo estoque tem a somar ou subtrair. A formulação dos controles de taxas se divide entre aquelas que fazem parte do processo de instauração da SI (englobam os atores) e do processo da execução de SI (englobam as novas indústrias entrantes para o sistema simbiótico).

7.3.1.3 Controles de Taxas do Processo de Instauração da SI

a) Simbiose Taxa Sucroenergético:

- recebe influência direta das barreiras *Fluxo de Informações, Planejamento de Demanda e Risco Econômico*;
- sua concepção baseia-se na premissa de representar o nível de atividade do setor sucroenergético em SI, para isso, são levadas em consideração todas as barreiras influenciadoras; é importante considerar as conclusões de Chertow (2000) sobre a cooperação ser alcançada através do tempo;
- sua formulação representa a taxa do produto *Planejamento de Demanda e Fluxo de Informações sobre Risco Econômico*; usando das ferramentas do software, a configuração da taxa é ser alcançável depois de um período de 120 meses (metade dos períodos simulados) começando em 1%.

Equação 6 - Fórmula para a variável taxa *Simbiose Taxa Sucroenergético*

$$\text{Simbiose Taxa Sucroenergético} = \text{SMOOTH} \left(\frac{(\text{Planejamento de Demanda} \cdot \text{Fluxo de Informações})}{\text{Risco econômico}}, 120, 0.01 \right) \quad (6)$$

b) *Simbiose Taxa Papel Celulose*:

- recebe influência direta das barreiras *Fluxo de Informações*, *Planejamento de Demanda* e *Risco Econômico*;
- sua concepção baseia-se na premissa de representar o nível de atividade do setor de papel e celulose em SI, para isso, são levadas em consideração todas as barreiras influenciadoras; é importante considerar as conclusões de Chertow (2000) sobre a cooperação ser alcançada através do tempo;
- sua formulação representa a taxa do produto *Planejamento de Demanda* e *Fluxo de Informações* sobre *Risco Econômico*; usando das ferramentas do software, a configuração da taxa é ser alcançável depois de um período de 120 meses (metade dos períodos simulados) começando em 1%.

Equação 7 - Fórmula para a variável taxa *Simbiose Taxa Papel e Celulose*

$$\text{Simbiose Taxa Papel e Celulose} = \text{SMOOTH} \left(\frac{(\text{Planejamento de Demanda} \cdot \text{Fluxo de Informações})}{\text{Risco econômico}}, 120, 0.01 \right) \quad (7)$$

c) *Taxa Resíduos Sucroenergético*:

- não há influências sobre esta variável;
- sua concepção no modelo é representar algum nível de resíduos que sai do setor sucroenergético, por padrão em todos os cenários, seu valor é 100%.

d) *Taxa Resíduos Papel Celulose*:

- não há influências sobre esta variável;
- sua concepção no modelo é representar algum nível de resíduos que sai do setor de papel e celulose, por padrão em todos os cenários, seu valor é 100%.

7.3.1.4 Controle de Taxas Processo de Execução de SI

a) Taxa Entrantes SI:

- recebe influência direta das barreiras *Cumprimento ODS, Planejamento Estratégico e Suporte Governamental*;
- sua concepção baseia-se na premissa de representar o nível de indústrias entrantes no sistema de SI, para isso, são levadas em consideração questões de planejamento de SI, o apoio do governo e o nível de cumprimento das ODS;
- sua formulação representa a soma das influências de *Cumprimento ODS, Planejamento Estratégico e Suporte Governamental*.

Equação 8 - Fórmula para a variável taxa *Taxa Entrantes SI*

$$\begin{aligned}
 \text{Taxa Entrantes SI} = \\
 \text{Cumprimento ODS} + \text{Planejamento Estratégico} \\
 + \text{Suporte Governamental}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

b) Taxa Saintes SI:

- recebe influência direta das barreiras *Conscientização, Cumprimento ODS e Planejamento Estratégico*;
- sua concepção baseia-se na premissa de representar o nível de indústrias saintes do sistema SI, para isso, são levadas em considerações questões de planejamento de SI, a conscientização dos atores e sociedade complementar aos cumprimentos das ODS;
- sua formulação representa o valor inverso soma das influências de *Conscientização, Cumprimento ODS e Planejamento Estratégico*.

Equação 9 - Fórmula para a variável taxa *Taxa Saintes SI*

$$\begin{aligned}
 \text{Taxa Saintes SI} = \\
 \frac{1}{(\text{Conscientização} + \text{Cumprimento ODS} + \text{Planejamento Estratégico})}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

As variáveis do tipo “estoque” são as mais importantes para analisar os resultados gerados pelo modelo, essas variáveis registram o valor liberado a cada período pelos controles de taxas as quais dependem; suas formulações portanto são iguais ao valor da saída do controle de taxa que antecede o processo, tais variáveis dividem-se em entre aquelas que fazem parte do processo de instauração da SI (que englobam os dois setores elencados) e do processo da execução de SI (englobam as novas indústrias entrantes para o sistema simbiótico).

7.3.1.5. Variáveis Estoque do Processo de Instauração da SI

a) Resíduos NR Papel Celulose:

- recebe valores de *Taxa Resíduos Papel Celulose*;
- sua concepção é baseada na representação da quantidade de resíduos produzidos pelo setor de papel e celulose que não são usados como um recurso para simbiose industrial; a sigla NR (não recurso) identifica o estoque e quanto menor seu valor, melhores são os níveis de recursos sendo utilizados em processos simbióticos industriais;
- sua formulação representa a taxa de resíduos que não são destinados á SI.

Equação 10 - Fórmula para a variável estoque *Resíduos NR Papel e Celulose*

$$\text{Resíduos NR Papel Celulose} = \text{Taxa Resíduos Papel e Celulose} - \text{Simbiose Taxa Papel e Celulose} \quad (10)$$

b) Resíduos NR Sucroenergético:

- recebe valores de *Taxa Resíduos Sucroenergético*;
- sua concepção é baseada na representação da quantidade de resíduos produzidos pelo setor sucroenergético que não são usados como um recurso para simbiose industrial; a sigla NR (não recurso) identifica o estoque e quanto menor seu valor, melhores são os níveis de recursos sendo utilizados em processos simbióticos industriais;
- sua formulação representa a taxa de resíduos que não são destinados á SI.

Equação 11 - Fórmula para a variável estoque *Resíduos NR Sucroenergético*

(11)

*Resíduos NR Sucroenergético =
Taxa Resíduos Sucroenergético – Simbiose Taxa Sucroenergético*

c) *Simbiose Papel e Celulose:*

- recebe valores de *Simbiose Taxa Papel Celulose*;
- sua concepção representa o quanto de SI o setor praticou ao longo do tempo e mostra de maneira intrínseca o desenvolvimento da SI por parte do setor em questão;
- sua formulação iguala ao valor de *Simbiose Taxa Papel Celulose* no período.

Equação 12 - Fórmula para a variável estoque *Simbiose Papel e Celulose*

$$\textit{Simbiose Papel e Celulose} = \textit{Simbiose Taxa Papel Celulose} \quad (12)$$

d) *Simbiose Sucroenergético:*

- recebe valores de *Simbiose Sucroenergético*;
- sua concepção representa o quanto de SI o setor praticou ao longo do tempo e mostra de maneira intrínseca o desenvolvimento da SI por parte do setor em questão;
- sua formulação iguala ao valor de *Simbiose Taxa Sucroenergético* no período.

Equação 13 - Fórmula para a variável estoque *Simbiose Sucroenergético*

$$\textit{Simbiose Sucroenergético} = \textit{Simbiose Taxa Sucroenergético} \quad (13)$$

7.3.1.6 Variável Estoque do Processo de Execução da SI:

a) *Atuantes em SI:*

- recebe valores de *Taxa Entrantes SI*;
- sua concepção é a base de representação de indústrias atuantes em SI e o resultado das superações das barreiras, essa variável demonstra os níveis de

- maturidade que diferentes cenários podem representar, quanto maior seu valor, melhores são os níveis de SI não necessariamente em quantidades de indústrias, mas também em mais trocas simbióticas;
- sua formulação iguala ao valor de Taxa Entrantes SI subtraído do valor Taxa Santes SI.

Equação 14 - Fórmula para a variável estoque *Atuantes em SI*

$$\textit{Atuantes em SI} = \textit{Taxa Entrantes SI} - \textit{Taxa Santes SI} \quad (14)$$

O modelo busca representar como um sistema de SI se desenvolve com a superação das barreiras (variáveis definidas), registrando os valores exercidos dessas em estoques (variáveis estoques) com base nas formulações definidas nos controles de taxas.

Para tal marco, a consideração de barreiras que representam valores qualitativos foi imprescindível do ponto de vista sistêmico da SI, com isso foi necessária a interpretação sobre como cada barreira poderia se desenvolver ao se alcançar níveis de progresso em trocas simbióticas.

Considerando que o motor principal que inicia as operações de SI no sistema são os dois setores elencados, a modelagem foi feita considerando os valores que saem do que podemos chamar de processo de instauração de SI, onde concentram-se as variáveis que representam de alguma forma as atividades desempenhadas pelos dois setores industriais elencados; de modo geral as práticas simbióticas dos setores fazem o sistema SI iniciar e continuar a progredir.

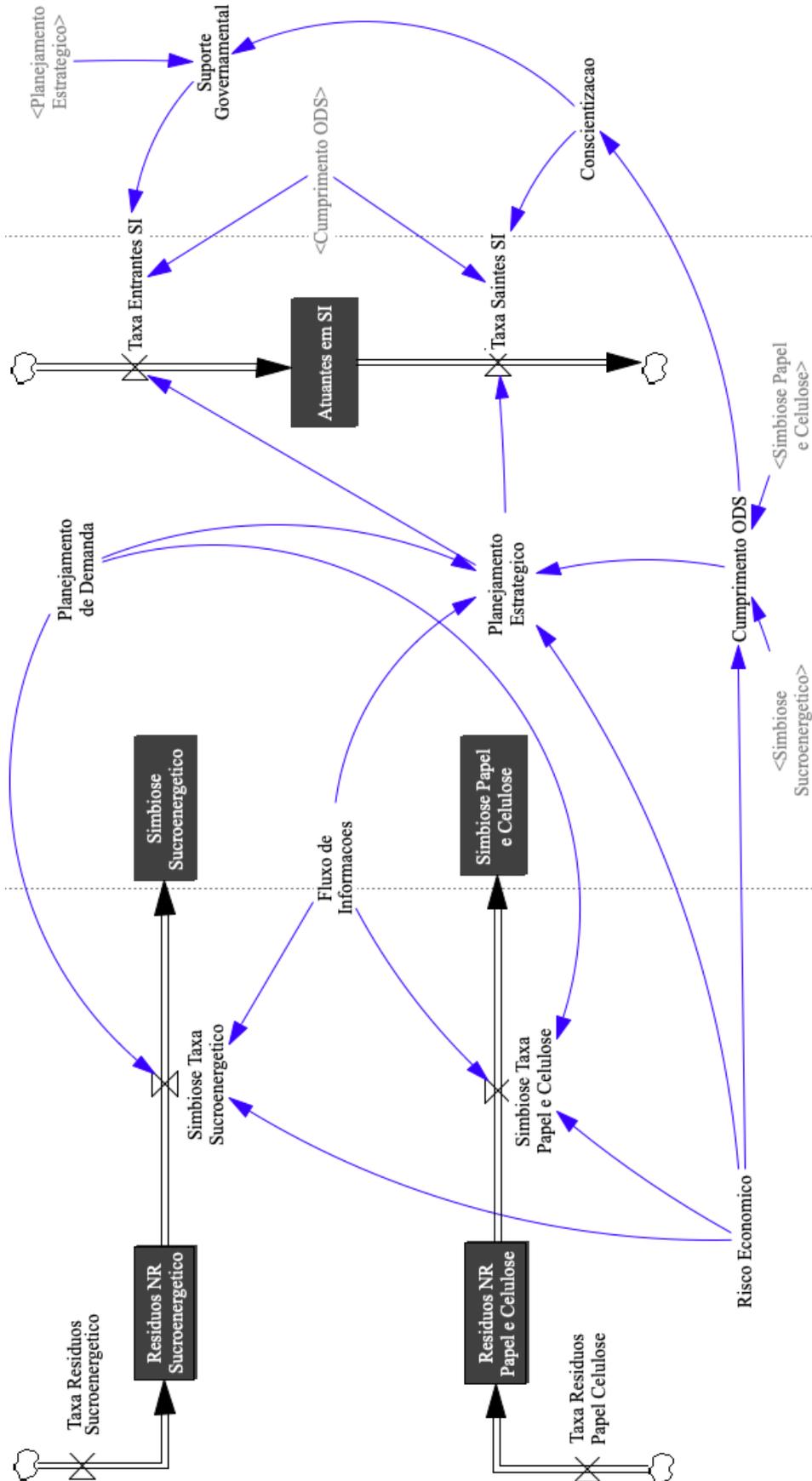
Por outro lado, as barreiras elencadas como influenciadoras formam o outro grupo de variáveis que influenciam no sistema, basicamente, se seus valores forem nulos ou muito baixos, as práticas de SI para o modelo não ocorrem, idealizando, portanto, a justificativa por trás da superação das barreiras para progredir no sistema.

Diante da implementação do modelo no software assim como explicitado, é relevante considerar o modo em que cada barreira (variável) foi formulada, para cada fórmula, sua concepção é considerada relevando os pontos que interferem em seu valor, seja para mais ou para menos, á exemplo da barreira Cumprimento ODS, que baseando-se na interpretação do modelo, pode ser interpretada como as práticas simbióticas realizadas pelos setores elencados no modelo, porém riscos maiores impediriam tais práticas assim como amplamente apontado pelas barreiras de Kosmol e Otto (2020).

7.3.2 Execução

A execução do modelo foi feita executando três cenários distintos, que permitem uma semelhança aos estágios evolutivos do modelo de Golev, Corder e Giurco (2014) para a avaliação de sistemas SI; as variáveis influenciadoras receberam valores de 5%, 50% e 95% nas diferentes execuções para veicular diferenças entre cenários e buscar representar os graus de maturidade da SI. O modelo contemplado é apresentado na Figura 13 e representado a seguir foi inteiramente feito utilizando-se dos recursos que o software Vensim® Personal Learning Edition proporcionou.

Figura 13 - Modelo de simulação discreta



Fonte: Autoria própria.

Uma vez que o modelo tenha todas as variáveis e taxas definidas de acordo com os conceitos da modelagem conceitual e modelagem híbrida, as execuções dos cenários são executadas alterando valores das variáveis de influência, a fim de entender o comportamento do modelo diante das variáveis elencadas para alterar a forma como o sistema simbiótico se desenvolve.

A simulação é demonstrada através da comparação de três cenários: otimista (3), pessimista (2) e realista (1). Os gráficos identificam em suas legendas o nome dado ao cenário e como correspondente às cores, os valores para variáveis influenciadoras para cada cenário foram definidos como na tabela.

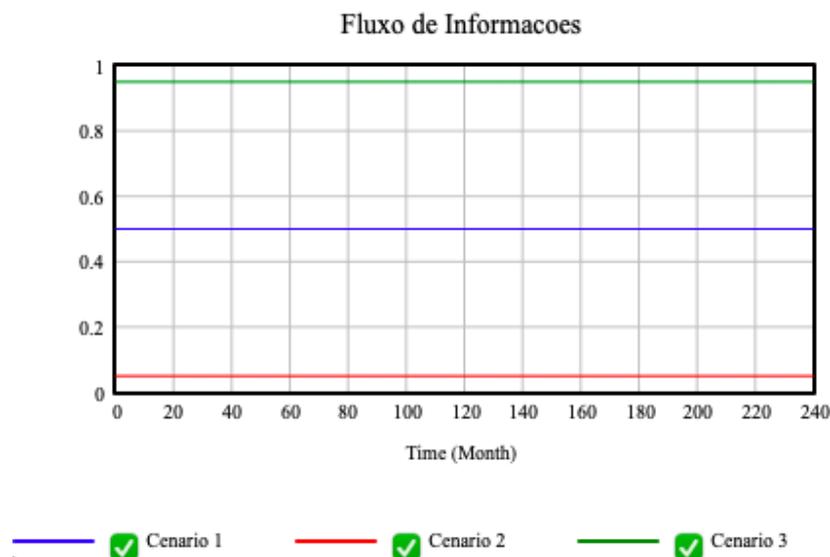
Tabela 3 - Valores alocados para variáveis influenciadores em cada cenário

	<i>Fluxo de Informações</i>	<i>Planejamento de Demanda</i>	<i>Risco Econômico</i>
<i>Cenário 1</i>	50%	50%	50%
<i>Cenário 2</i>	5%	5%	95%
<i>Cenário 3</i>	95%	95%	50%

Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 1 que representa os pesos em valores para *Fluxo de Informações*.

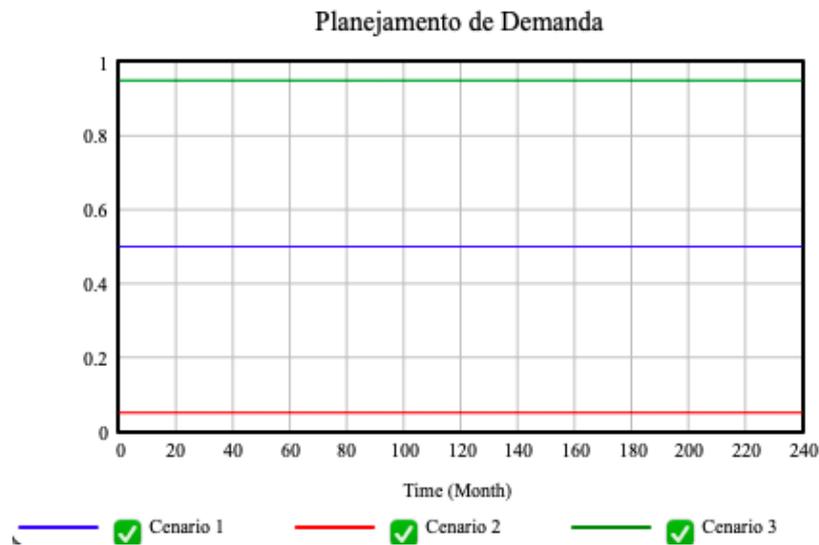
Gráfico 1 - Gráfico da variável definida Fluxo de Informações



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 2 que representa os pesos em valores para *Planejamento de Demanda*.

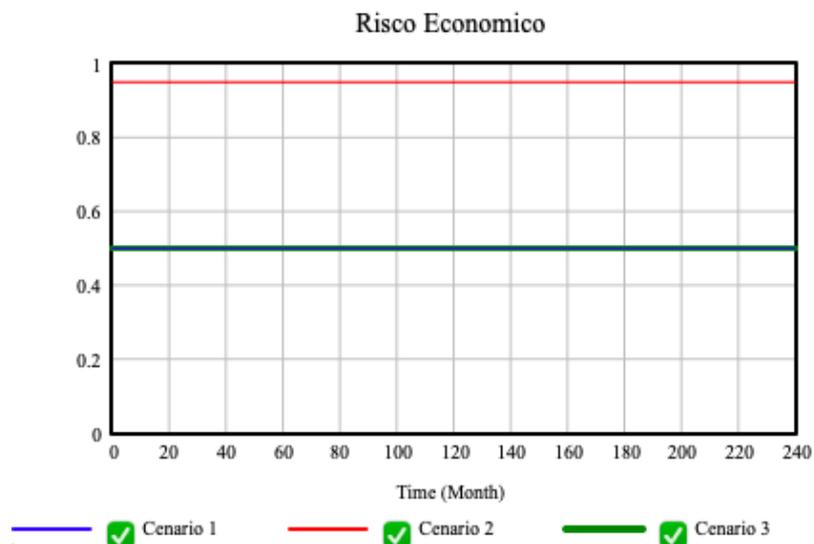
Gráfico 2 - Gráfico da variável definida *Planejamento de Demanda*



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 3 representa os pesos em valores para *Risco Econômico*.

Gráfico 3 - Gráfico da variável definida *Risco Econômico*



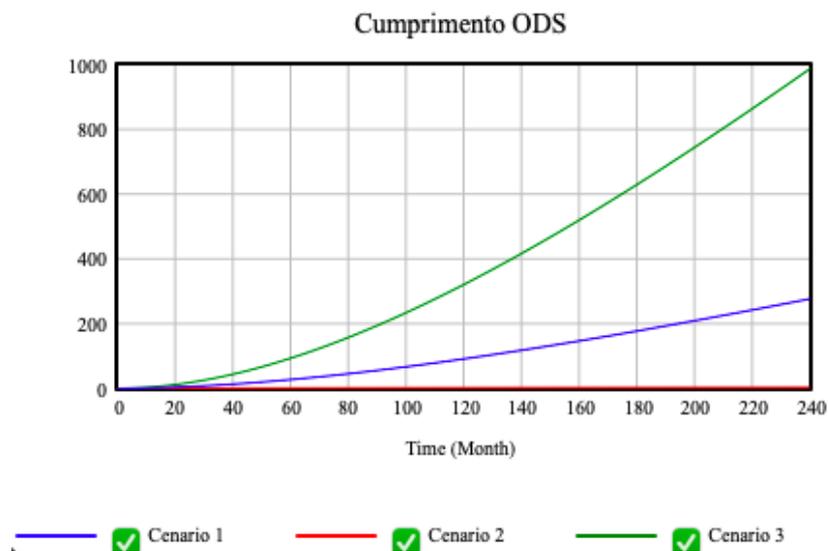
Fonte: Autoria própria.

Os cenários evidenciados na execução buscaram representar os níveis de maturidade em que o sistema simbiótico industrial alcançaria diante do cumprimento e superação das barreiras, os resultados do modelo de simulação contemplam os graus de maturidade de Golev, Corder e Giurco (2014).

A execução do modelo demonstra estágios de simulação em um intervalo de tempo definido em 240 meses (20 anos), o que pode ser relativamente um longo ou curto período em casos reais, no entanto, foi suficiente para demonstrar graficamente como barreiras da SI podem ser superadas em vista de diferentes aspectos.

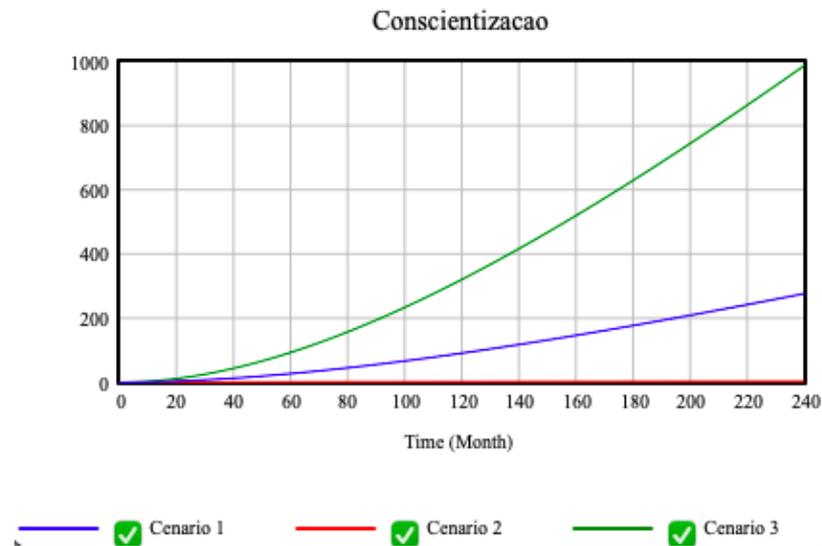
As variáveis definidas influenciadas são os fundamentos por trás do desenvolvimento da SI, assim como conceituado, as variáveis representam barreiras que de algum modo são influenciadas por outros comportamentos do modelo, os gráficos gerados por essas variáveis são os seguintes. Acompanhe o Gráfico 4 que representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *Cumprimento ODS*.

Gráfico 4 - Gráfico da variável definida *Cumprimento ODS*



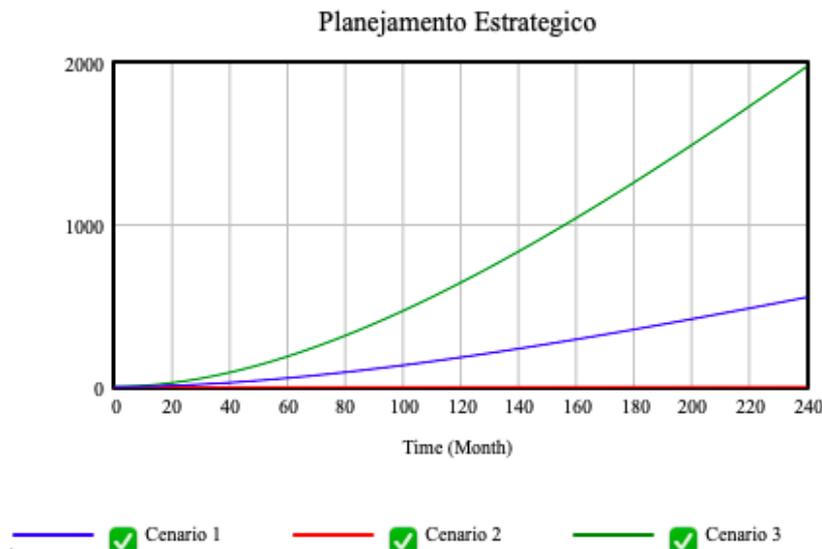
Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 5 que representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *Conscientização*.

Gráfico 5 - Gráfico da variável definida *Conscientização*

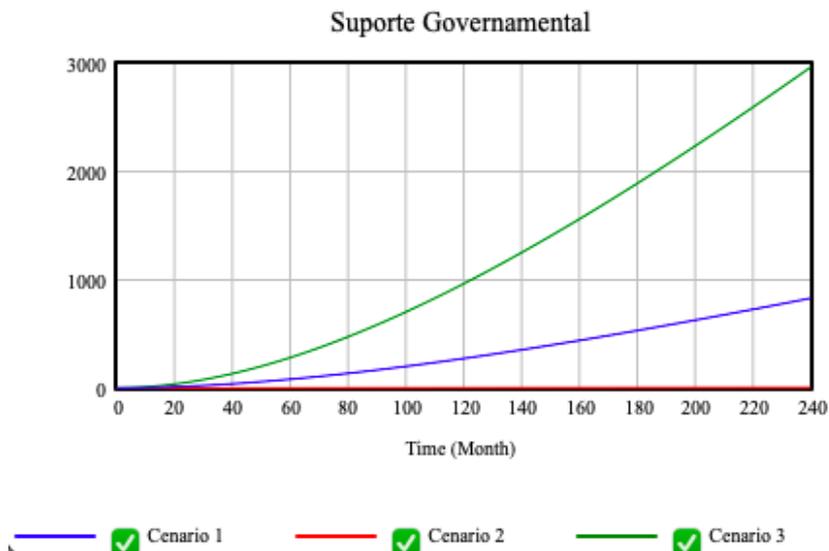
Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 6 representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *Planejamento Estratégico*.

Gráfico 6 - Gráfico da variável definida *Planejamento Estratégico*

Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 7 que representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *suporte governamental*.

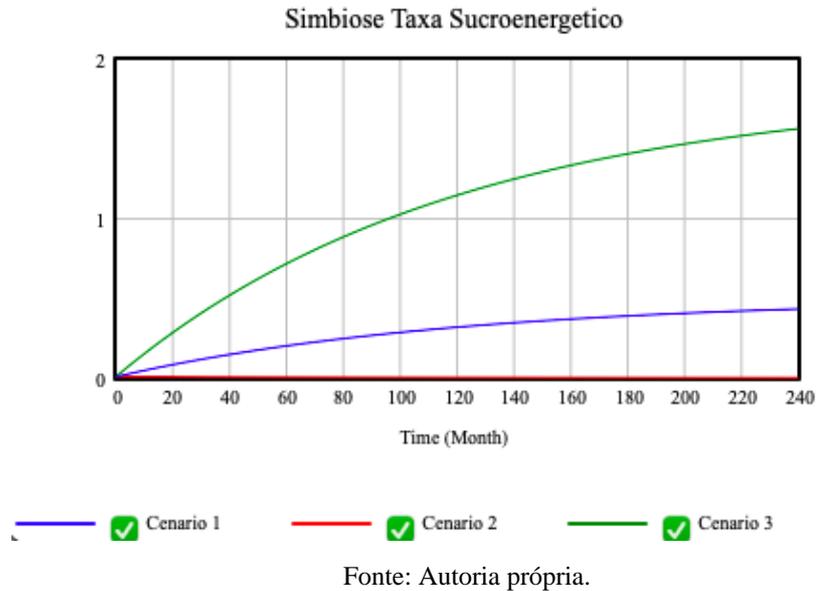
Gráfico 7 - Gráfico da variável definida *Suporte Governamental*

Fonte: Autoria própria.

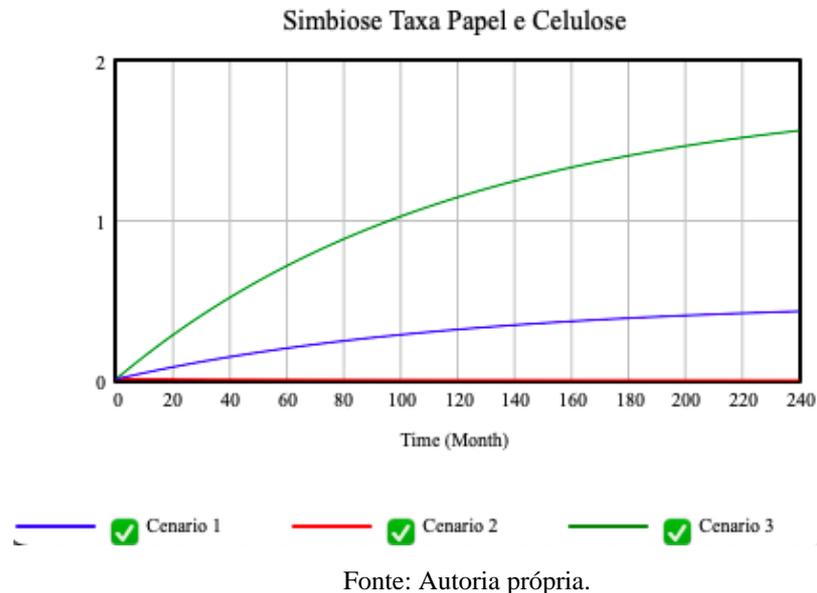
É importante notar os detalhes do modelo para que prospecção do sistema simbiótico industrial seja fiel á uma realidade futura seja por semelhanças ou por igualdade. As taxas do modelo já conceituadas explicam como as mudanças de valores fluem para as variáveis estoque, permitindo explicar, portanto o modelo pelos resultados gerados.

As taxas de instauração da SI são tidas como o mais sensível ajuste do modelo pois leva em consideração a pura opinião de como a SI se desenvolverá, como demonstrado, essas taxas utilizam um recurso do software que traz um efeito exponencial para alcançar o resultado, a principal razão para isso é porque deve-se levar em consideração que as práticas de SI não são imediatas quando nos ajustamos para vencer às barreiras, assim como Chertow (2020) afirma que a “cooperação é alcançada através do tempo”.

De maneira geral, bons níveis de planejamento estratégico e troca de informações junto á menores níveis de risco ou vice-versa demandam tempo para que surtam os efeitos reais no desenvolvimento da SI. Acompanhe o Gráfico 8 que representa os valores transferidos pela variável taxa *simbiose taxa sucroenergético*.

Gráfico 8 - Gráfico da taxa do processo de instauração *Simbiose Taxa Sucroenergético*

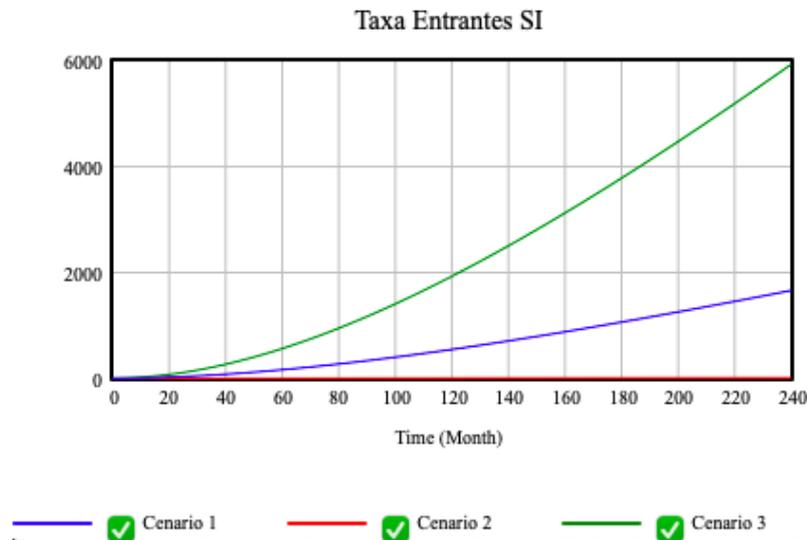
O Gráfico 9 representa os valores transferidos pela variável taxa *Simbiose Taxa Papel e Celulose* e *Celulose*.

Gráfico 9 - Gráfico da taxa do processo de instauração *Simbiose Taxa Papel e Celulose*

As taxas do processo de execução da SI replicam os resultados alcançados nos valores das barreiras, como conceituado e demonstrado, seus valores influenciam diretamente na quantidade de atuantes de SI, a taxa de entrada representando a soma das três variáveis elencadas e de saída representado o seu inverso, resultando, então, em um modelo que demonstra que ao passar do tempo, melhores níveis para as variáveis definidas benéficas á SI

satisfazem a premissa de que o desenvolvimento irá ocorrer. Acompanhe o Gráfico 10 que representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *Taxa Entrantes SI*.

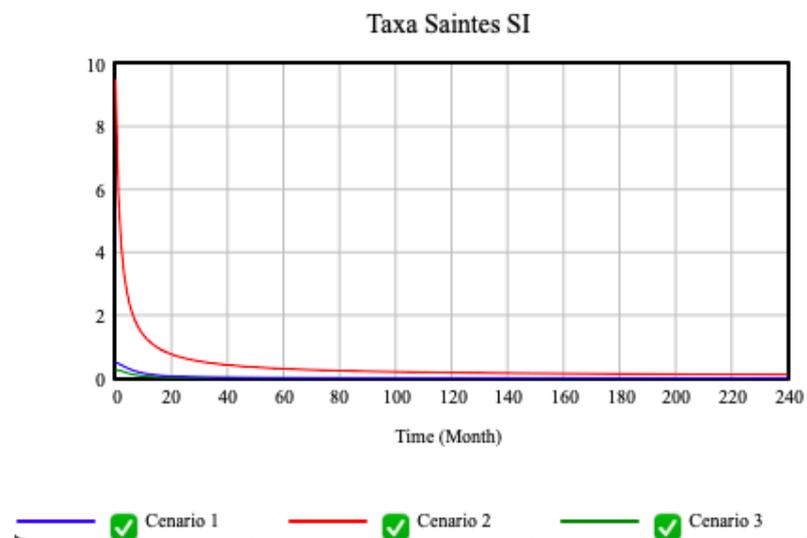
Gráfico 10 - Gráfico da taxa do processo de execução *Taxa Entrantes SI*



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 11 representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *Taxa Saintes SI*.

Gráfico 11 - Gráfico da taxa do processo de execução *Taxa Saintes SI*



Fonte: Autoria própria.

As taxas que fazem parte do escopo do processo de instauração da SI *Taxa Resíduos Sucroenergético* e *Taxa Resíduos Papel e Celulose* apresentam em todas as ocasiões o valor

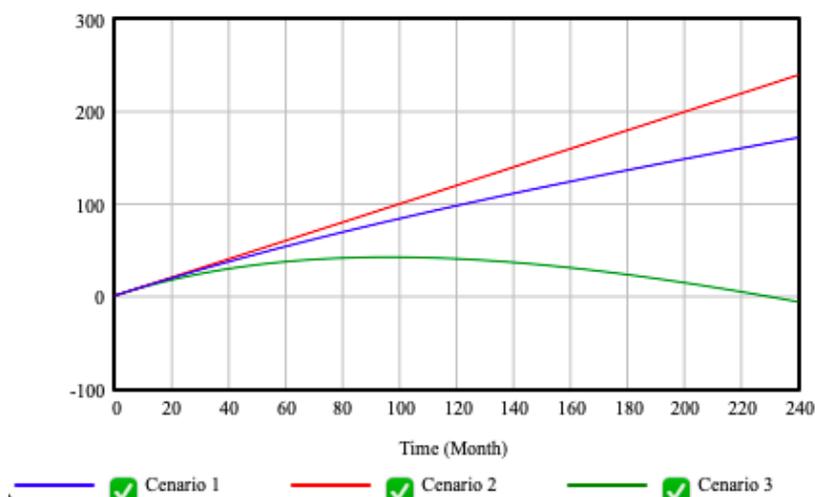
constante de 100%, permitindo ao modelo executar as variáveis estoque que identificam a quantidade de resíduos não recursos; apesar disso, a premissa da construção e execução do modelo parte de uma linha de raciocínio onde a variação da quantidade de resíduos gerados pela indústria não deve impedir o desenvolvimento da SI, desde de que existam resíduos para que o sistema funcione.

Parte fundamental dos resultados da execução do modelo estão nas variáveis estoque, que acumulam os valores das taxas seguindo uma formulação, no processo de instauração da SI temos as variáveis estoques que identificam resíduos não recursos (NR) as que identificam a simbiose praticada pelo setor, quanto maior o valor das taxas que identificam a simbiose pratica (*Simbiose Sucroenergético* e *Simbiose Papel e Celulose*) melhores são os níveis do sistema simbiótico. Acompanhe o Gráfico 12 que representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *Resíduos NR Sucroenergético*.

Gráfico 12 - Gráfico da variável estoque do processo de execução *Resíduos NR*

Sucroenergético

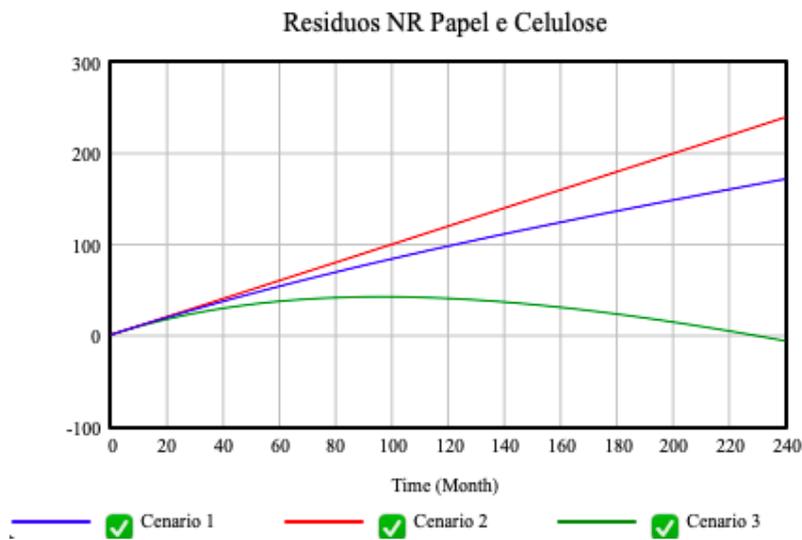
Resíduos NR Sucroenergetico



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 13 representa as influências recebidas por outras variáveis em valores para *Resíduos NR Papel e Celulose*.

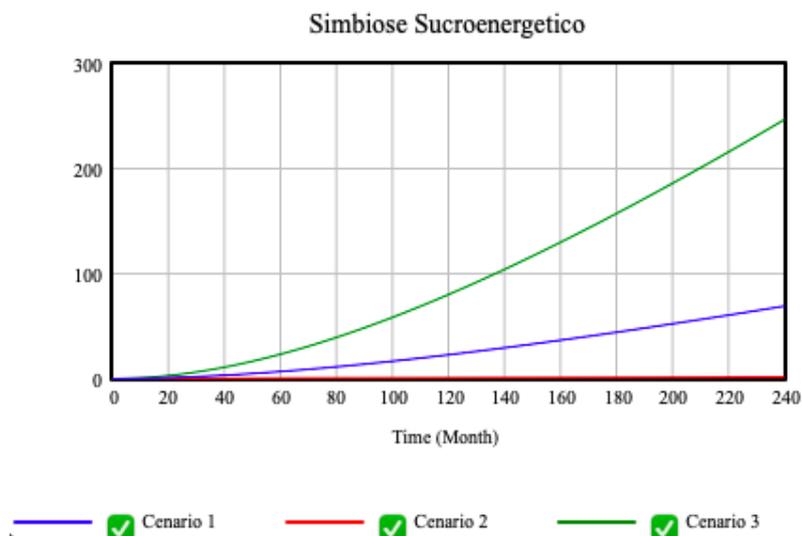
Gráfico 13 - Gráfico da variável estoque do processo de execução *Resíduos NR Papel e Celulose*



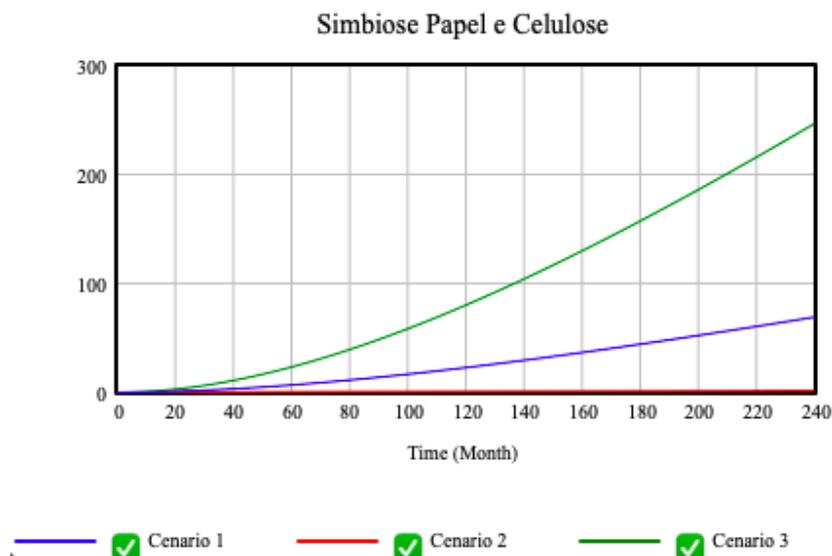
Fonte: Autoria própria.

Como apresentado, no Gráfico 14 e Gráfico 15 é possível acompanhar a evolução da SI principalmente no cenário 2 e 3 onde os recursos NR passam a ser convertidos para recursos de SI. Apesar de valores iguais pela paridade simétrica dos valores definidos, os gráficos representam os conceitos de prática de SI.

Gráfico 14 - Gráfico da variável estoque do processo de execução *Simbiose Sucroenergético*



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 15 - Gráfico da variável estoque do processo de execução *Simbiose Papel e Celulose*

Fonte: Autoria própria.

7.4 ANÁLISES E PRESCRIÇÕES

7.4.1 Considerações factuais

Os resultados que o modelo proporcionou servem como base para o entendimento de como executar em mitigação às barreiras da SI, ao fazer isso, comportamentos e formas de superar as barreiras são fundamentais serem levados em consideração para que o modelo possa representar algum nível de realidade.

Como constata Henning (2009) em uma perspectiva construtivista em vista da modelagem matemática sobre a realidade, de que é possível promover o melhor entendimento de um ponto de vista comunicado, usando este portanto para explorar cenários e reduzir a complexidade do entendimento. Para Henning (2009) modelagem matemática é relacionada ao desenvolvimento histórico e experiências individuais.

É importante enfatizar que os números obtidos pela simulação não representam a realidade; mas servem afinal, como proposta e projeção de uma realidade onde diferentes níveis de escala não devem impactar o modelo que tem seus resultados fortemente apoiado na interpretação gráfica.

Como evidenciado, as barreiras influenciadoras são as selecionadas para demonstrar os diferentes níveis de evolução, de acordo com as descrições teóricas obtidas, ao mesmo tempo em que a escolha dessas se passa pelos pontos levantados na justificativa, problemática e pelo modelo de Kosmol e Otto (2020).

De tal forma, foi mais claro e objetivo demonstrar como a mudança sobre as barreiras influenciadoras poderiam afetar o sistema, como exemplificado na problemática e justificativa as dificuldades de *fluxo de informações*; na justificativa e barreiras relevantes de Kosmol e Otto (2020) as dificuldades técnicas representadas por *planejamento de demanda* e por fim, *risco econômico* representa as dificuldades apontadas em relação a projetos na justificativa e também nas barreiras relevantes de Kosmol e Otto (2020).

Durante a modelagem e extração dos resultados do modelo, foram feitas diferentes análises para os valores das variáveis influenciadoras sobre as variáveis influenciadas e principalmente da variável estoque *Atuantes em SI*, houve a ponderação para que graficamente a representação de diferentes níveis de desenvolvimento pudesse ficar clara.

7.4.2 Interpretações

Com os resultados alcançados, as diferenças entre os cenários simulados demonstram dentro do escopo matemático desenvolvido; mais sobre as influências de cada variável e como o comportamento gráfico de cada variável se desenvolve.

Os resultados do modelo demonstrados em gráficos sugerem os caminhos a serem seguidos por tomadores de decisão sobre as barreiras enfrentadas, veicular ganhos sobre fluxo de informações e ter um bom planejamento de demanda influenciam de maneira muito positiva o desenvolvimento da SI, assim como o modelo híbrido apontou nas definições.

É preponderante afirmar que os cenários 1 (realista) e 3 (otimista) representam pelo menos algum nível próximo do ativo do modelo desenvolvido por Golev, Corder e Giurco (2014) com pelo menos algum nível de veracidade; uma vez que as taxas de influência das variáveis positivas para si partem de 50%; demonstrando, portanto, um peso considerável dos níveis das variáveis que demonstram a superação das barreiras.

O cenário 3 é tido como perto do ideal para o desenvolvimento da SI, seus valores performam de maneira sem igual para a contribuição das reduções de resíduos NR's, e mostram a ascensão das operações nas práticas de SI pelos dois setores evidenciados no processo de instauração. Em *Atuantes em SI*, é demonstrada a pura relação das superações das barreiras e como isso interfere no engajamento de mais trocas simbióticas.

O cenário 2 (pessimista) é visto como o menos favorável, e pensando na superação das barreiras é o único a ser evitado em vista dos resultados do modelo, seus valores não demonstram progresso significativo sobre a troca de resíduos quando comparadas aos outros 2 cenários. Em *Atuantes em SI*, assim como em outras variáveis, seus valores parecem graficamente não saírem perto de 0, isso ocorre em função de seus baixíssimos valores alcançados.

O cenário 1 foi o princípio dos cenários simulados, o cenário mostra um “equilíbrio” entre as variáveis e serviu de base para identificar as diferenças para os demais cenários buscados para evidenciar formas diferentes de progresso; pode ser visto como um cenário mediano para o desenvolvimento, apesar de ter bons níveis de influência sobre as barreiras, seu progresso se deve á paridade encontrada entre os valores que influenciam nas taxas do processo de instauração.

Do melhor ao pior cenário, os resultados obtidos são visivelmente claros pelos gráficos extraídos do modelo, um dos objetivos finais de análise do modelo é identificar como a SI está progredindo com base na atuação de diferentes atores em SI pela variável *Atuantes em SI*, como identificado, cenários 1 e 3 tiveram boa performance, mas o cenário 2 demonstra resultados que devem ser evitados. confira na Tabela 4 os valores encontrados no modelo após os 240 períodos simulados para *Atuantes em SI*.

Tabela 4 - Valores para *Atuantes em SI* após 240 períodos

<i>Cenário</i>	<i>Valor</i>
<i>Cenário 1</i>	153.043,00
<i>Cenário 2</i>	1649,48
<i>Cenário 3</i>	540.632,00

Fonte: Autoria própria.

Confira o Gráfico 16 que representa os valores para *Atuantes em SI* em todos os períodos simulados

Gráfico 16 - Gráfico da variável estoque do processo de execução *Atuantes em SI*

Fonte: Autoria própria.

É importante notar que os gráficos dos cenários 1 e 3 onde representam avanços significativos sobre as barreiras, tendem a forma exponencial de representação; parte do comportamento do gráfico se deve ao fato de que *Atuantes em SI* concentra os resultados em diferentes pesos de todas as barreiras ao passo que os valores no modelo estão aumentando levando *Cumprimento ODS* em forte consideração, que por sua vez sofre influência indireta do comportamento da fórmula SMOOTHI (fórmula chave para representar o ganho e cooperação através do tempo).

Mesmo *Atuantes em SI* representando papel fundamental nos resultados, a análise por outras variáveis traz muito da perspectiva adotada pelo modelo, o cenário 2 se destaca em todas as variáveis como o pior e cenário e que aparenta claramente não sair de valores próximo de 0, como demonstrado, há uma grande diferença para o cenário mediano 1; em todas as variáveis influenciadas, o cenário 2 demonstra como que os níveis de risco econômico alto e planejamento da demanda e fluxo de informações baixo apenas deterioram o progresso da SI.

Dentre os diagnósticos mais relevantes a serem feitos sobre como o modelo se comporta e a mensagem pelo qual é transmitida pelo modelo está no processo de instauração, onde os atores de SI exercem o papel fundamental de iniciar as relações simbióticas; a postura dos atores para modificar e alcançar bons níveis nas barreiras influenciadoras permitem que suas operações industriais passem de um estado de “descarte de resíduos não-recursos” para “instauração e prática de simbiose industrial”.

Para tanto, o cenário 3 mostra seus níveis de resíduos NR diminuindo cada vez mais e os níveis de simbiose aumentando. Uma vez que o processo de SI esteja instaurado, as barreiras influenciadas atuam como um “filtro” antes que a SI envolva novos atores no sistema; na demonstração do modelo, o processo de execução da SI é tido como o resultado dos valores que passam pelas barreiras influenciadas, exibindo de modo enfático que superar tais barreiras impõem ganhos ao sistema.

As taxas do processo de execução da SI atuam em total alinhamento com os valores das barreiras, o modelo demonstra saída como o inverso de influências e entrada a soma de outras barreiras; condizendo com a teoria de que graus mais altos de maturidade de SI envolvem de maneira mais cooperativa os atores industriais, facilitando a entrada de novos integrantes ao processo simbiótico.

Incontestavelmente, dentre as barreiras que mais influenciam nos resultados do modelo, a *Cumprimento ODS* demonstra maior presença no processo de execução da SI, sua influência se faz presente 4 vezes em *Taxa Entrantes SI* (através de *Suporte Governamental* que surge dos valores de *Conscientização* e *Planejamento Estratégico*, ambas influenciadas diretamente pela variável; *Cumprimento ODS* a própria variável e por fim por *Planejamento Estratégico* que recebe influência direta); e 3 vezes em *Taxa Saindo SI* (através de *Planejamento Estratégico* e *Conscientização*, ambas com influência direta e também da própria variável *Cumprimento ODS*).

A razão pela qual se faz tão presente a *Cumprimento ODS* é o poder e proatividade por trás dos objetivos definidos pela ONU, em um modelo real, o cumprimento serão apenas marcos alcançados, mas que irão representar grande progresso e melhorias feitas para alcançá-las, o modelo leva em consideração que as ODS cumpridas sejam principalmente relacionadas ao desenvolvimento da SI.

7.4.3 Prescrições

Em uma infinidade de cenários que poderiam representar as ideias por trás do desenvolvimento da SI, certamente alguns padrões coexistiriam em favor dos princípios fundamentais do modelo, dos quais derivaram-se das pesquisas feitas por Golev, Corder e Giurco (2014) e Kosmol e Otto (2020). Com base na demonstração dos resultados e de acordo com os princípios do modelo, as prescrições adiante ponderam os preceitos para o desenvolvimento da SI, que traz em suas raízes a ecologia industrial.

Os fundamentos do modelo apoiados nas mais recentes pesquisas científicas direcionam os resultados aqui extraídos para uma representação na realidade, por isso é imprescindível o entendimento das barreiras e suas particularidades. Nas hipóteses levantadas

para este modelo as barreiras influenciadoras poderiam ser vencidas tendo consciência seguintes pontos.

a) Fluxo de informações:

- uso inteligente de redes e para troca de informações contínua;
- apoio de dispositivo IIoT para grande parte das operações que envolvem SI, direta ou indiretamente;
- uso irrestrito de informações para apoio á tomada de decisões, tal como sobre resíduos, produção e níveis de estoque.

b) Planejamento de Demanda

- execução contínua do planejamento de demanda e operações;
- uso de ferramentas de gestão e performance em toda a cadeia de suprimentos dos atores envolvidos no SI (principalmente no início onde o papel dos atores são fundamentais para o contínuo desenvolvimento);
- relações de parceria com fornecedores e clientes.

c) Risco Econômico

- altos níveis de incerteza sobre investimentos;
- falta de viabilidade econômica para qualquer projeto de SI;
- perspectivas sobre lucro não levam em conta o descarte de resíduos tampouco cooperação com outras indústrias.

Como enfatizado, a escolha das barreiras influenciadoras como tais, se devem aos apontamentos feitos nos elementos deste trabalho, apesar da referida conjectura, em propósitos gerais, tomar controle das barreiras mais relevantes e problemáticas dentre as já levantadas para compor o modelo foi o caminho idealizado para propor um caminho a ser seguido em uma real implementação.

Virtuosamente, em casos reais, supõe-se que o controle sobre as barreiras conhecidas no modelo como influenciadas entrarão no escopo de atuação dos atores de SI, direta ou indiretamente com as ações tomadas no desenvolvimento do sistema, tendo isso em mente, nas hipóteses levantadas para este modelo, as barreiras influenciadas poderiam ser vencidas como nos pontos adiante.

d) Comprometimento ODS:

- comprometimento dos atores em desenvolver a SI;

- desenvolver ações interindustriais em favor das ODS em especial da 9 (indústria, inovação e infraestrutura), 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e 12 (consumo e produção responsáveis);
 - implementação de políticas de gerenciamento voltadas para o desenvolvimento da SI no parque industrial.
- e) Planejamento Estratégico:
- instauração de uma agência/organização central para o desenvolvimento dos processos de SI;
 - mecanismos de cooperação entre atores da SI o que pode acontecer com a superação das barreiras influenciadoras;
 - implementação de metodologias para gestão da demanda (exemplo; S&OP), informações (exemplo implementação de ferramentas como *Input-Output Matching*) e meios de conter relutância e descontinuidade dos atores.
- f) Suporte Governamental:
- políticas voltadas para reuso de resíduos e reciclagem;
 - implementação de leis e impostos que deixam mais vantajosas as práticas de SI;
 - suporte das instituições públicas em promover a SI.
- g) Conscientização:
- divulgação das práticas adotadas em relação a SI para a sociedade;
 - instigar o engajamento de diferentes comunidades na tomada de decisões para o desenvolvimento industrial;
 - propagar dados, informações e estudos sobre as vantagens da ecologia industrial.

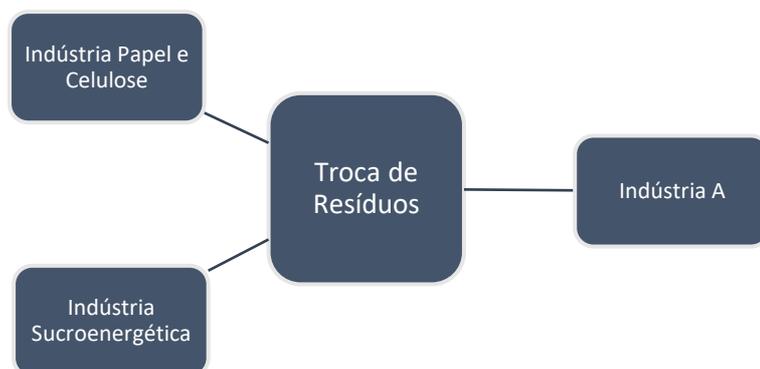
Não deve haver dúvidas de que na representação do modelo, os valores definidos para as variáveis influenciadoras representaram os diferentes modos operados pelos cenários. Congruentemente, uma possível implementação real do modelo demonstrado se passará por definir e conduzir ações para proceder fluxo de informações, planejamento de demanda e mitigar os riscos econômicos.

Em vista da implementação do modelo apresentado, indústrias do setor sucroenergético e de papel e celulose seriam os cofundadores do processo de SI ao juntamente com uma entidade/organização central para viabilizar e orientar os caminhos da SI, mas os setores desempenhariam papel fundamental em conhecer e promover a superação de todas as principais

barreiras da SI; realizando, portanto, a terceira abordagem apresentada por Chertow (2000); o modelo inquilino âncora.

Nos processos iniciais as decisões entre os atores de SI são importantes para instaurar a SI e permitir a troca de resíduos, para isso, assim como no modelo, a “heurística 3-2” deve predominar a ideia de troca de resíduos, entre outros elementos citados para o modelo, indústrias de papel e celulose estariam em um ponto inicial desempenhando papel para trocas, ao passo que com a junção do setor sucroenergético, o sistema simbiótico passaria a existir pela heurística; em outras palavras, não menos do que 3 indústrias devem trocar no mínimo 2 resíduos, como exemplifica a Figura 14 que demonstra a atuação de uma indústria “A” como parte do sistema de SI.

Figura 14 - Modelo de troca de resíduos segundo a “heurística 3-2”



Fonte: Autoria própria.

Categoricamente, o desenvolvimento da SI trará a atuação de mais atores, convergindo as ações da SI para pontos de maior atividade, enquanto variáveis como as representadas pelas barreiras *suporte governamental* e *cumprimento ODS* se alinham para a direção da SI, o surgimento de instalações físicas devem se fazer necessário, de forma gradual, o desenvolvimento de eco parques industriais se tornará cada vez mais realidade, assim como afirma Chertow (2000) sobre a existência de eco parques industriais representarem o conceito de SI bem-sucedido.

8. CONCLUSÕES

Ao final dos resultados obtidos, fica claro como o pensamento sistêmico corrobora para demonstrar o funcionamento de ideologias, que foram levantadas no meio científico e replicadas em modelo de simulação dinâmica. O modelo denota para os resultados, mais interpretação das relações e do comportamento gráfico do que os valores numéricos alcançados, contribuindo, portanto, para uma representação das ideias construídas nas análises dos resultados.

Certamente, os custos de produção de energia irão diminuir ao longo do tempo com a ascensão de fontes renováveis, como constatou recentemente Baffes e Nagle (2022) que fontes de energia eólica e solar já se tornaram as fontes mais baratas e várias partes do mundo. Diante disso, destinar resíduos para produção de energia pode não ser o caminho mais viável daqui á alguns anos para muitas indústrias, em especial dos setores relacionados ao modelo. É essencial que estratégias voltadas para SI se desenvolvam para garantir fins adequados aos recursos, geração de valor para produtos finais, implementação de novas tecnologias que contribuem para o desenvolvimento industrial nos mais variados aspectos para além da ecologia industrial.

8.1 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E PRÁTICAS

Com os resultados e análises extraídos é deliberativo a indicação das ideologias e modelo apresentado para a implementação em casos reais, as contribuições deste trabalho para a sociedade serve como apoio original dos conceitos de SI para tomada de decisões em projetos reais; seu escopo de utilização pode orientar governos e setor privado bem como a sociedade civil em geral para contribuir nos projetos que envolvam o progresso da SI e o reconhecimento das dificuldades por trás das operações.

É ilativo que a demonstração dos resultados permitiu cumprir os objetivos explicitados, entre as ações realizadas, foi possível então: identificar as principais barreiras da SI como aponta o Referencial Teórico e a Modelagem Híbrida dos Resultados; demonstrar modelos e ações de SI já consolidadas como aponta a Justificativa e Simbiose Industrial em Setores e Regiões de Resultados; enunciar os meios para alcançar práticas em SI como aponta a Modelagem Híbrida dos Resultados; simular o desenvolvimento do processo produtivo como aponta Simulação Dinâmica dos Resultados e por fim prescrever analiticamente ações como evidente em Análises e Prescrições dos Resultados.

Mais uma vez, é necessário considerar o fato de que os valores apresentados no modelo são qualitativos, no entanto, a formulação das barreiras sugerem o surgimento e manutenção de

KPI's que podem ser usados para definir métricas entre outros parâmetros que podem ser usados para mensurar o desenvolvimento do sistema simbiótico industrial.

8.2 LIMITES ENCONTRADOS

A maior limitação em vista do processo de simulação encontrado foi não poder completar o ciclo de vida de um modelo de simulação, assim como apontado por Chwif (1999), etapas como verificação e validação não puderam ser aplicadas em caso real em reconhecimento à viabilidade técnica e operacional para conduzir um projeto real bem como o tempo estipulado.

A dificuldade de quantificar os valores para as variáveis refletiu-se na interpretação do modelo, onde para fins analíticos trouxe a necessidade de interpretação gráfica, para distinguir ganhos entre os cenários, enfaticamente, estudar variáveis qualitativas trás perspectivas além de números, exigindo mais da interpretação e conhecimento sobre seus escopos.

O modelo de barreiras híbridas elencado é o resultado das barreiras mais relevantes de acordo com a metodologia utilizada, onde dois relevantes artigos sobre barreiras da SI solidificam os fundamentos, apesar de contar com um modelo matemático por trás da execução, os princípios demonstrativos do modelo não são exatos, demonstrando por tanto que os valores demonstrados não são quantificáveis, em razão de serem vinculados a medições qualitativas.

Concomitantemente, os valores que são representados no modelo podem apresentar alta variabilidade na realidade, os valores que são definidos como taxas podem entre diferentes cenários representar valores de diferentes magnitudes, á depender também da métrica utilizada, assim como pode acontecer com o risco de projetos relacionados á SI diminuir ao longo do tempo e não ficar estático ao longo de anos. Tomando consciência da variabilidade que as variáveis podem assumir, é ainda mais enfático notar que a interpretação do modelo para replicar em casos reais exige conhecimentos mais específicos sobre cada variável elencada.

8.3 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Diante das dificuldades encontradas, as melhores recomendações para pesquisas futuras giram em torno de projetos que buscam implementar a simbiose industrial, usando métodos alternativos em abordagens reais, o presente trabalho servirá de apoio na tomada das decisões para identificar as barreiras, ao mesmo passo que pode servir para construção de métricas KPI's, nas quais as formulações buscam representar com valores qualitativos neste trabalho.

Futuras pesquisas relacionadas poderão também destacar benefícios reais da implementação do sistema proposto, bem como a comprovação e finalização do modelo de simulação. Recomenda-se entre outros estudos, àqueles relacionados aos ganhos de performance industrial diante de sistemas simbióticos industriais e também pesquisas com escopo de pensamento sistêmico que se voltam para as práticas da SI. No geral, pesquisas que buscam implementar a SI sob qualquer ponto de vista trará ganhos incalculáveis para a sociedade e desenvolvimento das indústrias em especial projetos voltados para superação das barreiras demonstradas.

REFERÊNCIAS

- ÅGERFALK, Pär. J. BENGTSSON, Frederik. Information technology as a change actant in sustainability innovation: insights from Uppsala. **Journal of Strategic Information Systems**. p. 96-112. DOI: 10.1016/j.jsis.2010.09.007. 2011.
- AGRISHOW DIGITAL. **Quais as oportunidades no setor sucroalcooleiro?** 2019. Disponível em: <https://digital.agrishow.com.br/cana/quais-opportunidades-no-setor-sucroalcooleiro>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- ALLAN, Peter. BREMMER, Anne-Marie. FARRELL, K. O. VARD, Dan. A. A study into commercial & industrial (C&I) waste and recycling in Australia by industry division. **Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities**. 2013 Disponível em: < <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/91b2180c-b805-44c5-adf7-adbf27a2847e/files/commercial-industrial-waste.docx>>. Acesso em: 18 mai. 2021.
- ANAGNOSTOPOULOS, Theodoros. ZASLAVSKY, Arkady. SOSUNOVA, Inna. FEDCHENKOV, Petr. MEDVEDEV, Alexey. NTALIANIS, Klimis. SKOURLAS, Christos. RYBIN, Andrei. KHORUZNIKOV, Sergei. A stochastic multi-agent system for Internet of Things-enabled waste management in smart cities. **Waste Management & Research**. p.9. DOI: 10.1177/0734242X18783843. Mai. 2018.
- ASSAD, Leonor. Aproveitamento de resíduos do setor sucroalcooleiro desafia empresas e pesquisadores. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 69, n. 4, p. 13-16, Oct. 2017. DOI: 10.21800/2317-66602017000400005.
- BAFFES, John. NAGLE, Peter. **Commodity markets: evolution, challenges, and policies**. Washington, Estados Unidos: World Bank. 2022.
- BATALHA, Mário, Otávio. et al. **Gestão agroindustrial**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2021.
- BILSEN, Valentijn. (org.). **Analysis of certain waste streams and the potential of Industrial Symbiosis to promote waste as a resource for EU Industry**. Sumário executivo, 2015. DOI: 10.2873/962566. Bruxelas, Bélgica: União Europeia, 2015.
- BIOSUL. **Histórico de Produção de Bioenergia em Mato Grosso do Sul**. 2021. Disponível em: <https://biosulms.com.br/estatistica/historico-de-producao-em-ms/>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- BOONS, Frank. SPEKKINK, Wouter. JIAO, Wenting. A process perspective on industrial symbiosis: theory, methodology, and application. **Journal of Industrial Ecology**. v. 18. n. 3. p. 341–355. DOI: 10.1111/jiec.12116. 2014.
- BOSSEL, Hartmunt. **Modeling and Simulation**. Wellesley, Estados Unidos: A K Peters, 1994.
- BOYES, Hugh. HALLAQ, Bil. CUNNINGHAM, Joe. WATSON, Tim. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. **Computers in Industry**. v. 101. p. 1 – 12. DOI: 10.1016/j.compind.2018.04.015. 2018.

BRAGA, A. A gestão da informação. **Millenium**. v. 19. p. 10. URI: <<http://hdl.handle.net/10400.19/903>>. 2000.

BRANQUINHO, Marcelo. A. SEIDL, Jan. MORAES, Leonardo. C. BRANQUINHO, Thiago, B. AZEVEDO JUNIOR, J. **Segurança de Automação Industrial e SCADA**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Coleção de Leis da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 2010.

CAMPAROTTI, Carlos, E. S. **Análise da simbiose industrial por meio da simulação baseada em agentes: aplicação no setor agroindustrial**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Centro de Ciências Exatas de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2020.

CEPELLEVEEN, Guido. V. AMRIT, C. YAZAN, Devrim, M. A literature survey of information systems facilitating the identification of industrial symbiosis. DOI: 10.1007/978-3-319-65687-8_14. In: **FROM SCIENCE TO SOCIETY**. p. 155-169. 2018.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose – série P+L**. Governo do Estado de São Paulo – Secretaria de Meio Ambiente. 2008.

CHERTOW, Marian, R. Industrial symbiosis: a multi-firm approach to sustainability. **Eighth International Conference of Greening of Industry Network**, Chapel Hill. 1999. *Ahead of print*.

CHERTOW, Marian, R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**. v. 25. p. 313-337. 2000.

CHERTOW, Marian. R. “Uncovering” Industrial Symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**. v. 11, n. 1, DOI: 10.1162/jiec.2007.1110. 2007.

CHWIF, Leonardo. **Redução de modelos de simulação de eventos discretos na sua concepção: uma abordagem causal**. 139 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo, 1999.

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **Perfil da Indústria nos Estados**. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/>. Acesso em 10 out. 2021.

COOPER, M. C. LAMBERT, D. M. PAGH, J. D. Supply chain management: more than a new name for logistics. **The International Journal of Logistics Management**, v. 8, p. 1-14. DOI: 10.1108/09574099710805556. 1997.

CRAVO, Edilson. Processos industriais: o que são, como funcionam e como gerir. **Kalatec Automoção**. Disponível em: <<https://blog.kalatec.com.br/processos-industriais/>>. Acesso em: 13 mai. 2021.

CROSBY, Phill. B. **Quality is free: the art of making quality certain**. New York: McGraw-Hill. 1979.

DALENOGARE, Lucas, S. BENITEZ, Guilherme, B. AYALA, Néstor, F. FRANK, Alejandro, G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial Performance. **International Journal of Production Economics**. P. 383-394. DOI: 10.1016/j.ijpe.2018.08.019. 2018.

DALLEMAND, J. F. GERBENS-LEENES, P. W. Bionergy and water. **Joint Research Centre**. P 1-294. DOI: 10.2790/94637. 2013.

EHRENFELD, John, R. CHERTOW, Marian, R. Industrial symbiosis: the legacy of Kalundborg. In: AYRES, Robert, U. AYRES, Leslie, W. **A handbook of industrial ecology**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 2002, cap. 27. P. 334-348.

EMMANUEL, Isitor. STANIER, Clare. Defining Big Data. **BDAW '16: Proceedings of the International Conference on Big Data and Advanced Wireless Technologies**. p. 1-6. DOI: 10.1145/3010089.3010090. 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2029**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia. 2011.

FIEB – Federação das Indústrias do Estado da Bahia. **Meio Ambiente e Responsabilidade Social**. CNI disponibiliza Portal Virtual Bolsa de Resíduos em apoio à Logística Reversa. Disponível em: http://www.fieb.org.br/meio_ambiente_responsabilidade_social/Noticia/2092/cni-disponibiliza-portal-virtual-bolsa-de-residuos-em-apoio-a-logistica-reversa.aspx. Acesso em: 25 jun. 2021.

FIEMS - Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso do Sul. **Com 122,4 mil trabalhadores, setor industrial é 4º maior empregador de Mato Grosso do Sul**. 2019. Disponível em: <http://www.fiems.com.br/noticias/com-122-4-mil-trabalhadores-setor-industrial-e-4o-maior-empregador-de-mato-grosso-do-sul/28700>. Acesso em 18 ago. 2021.

FIEMS - Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso do Sul. **MS ocupa a 3.ª colocação no ranking nacional dos maiores estados produtores de celulose e papel**. 2021. Disponível em: <http://www.fiems.com.br/noticias/ms-ocupa-a-3-a-colocacao-no-ranking-nacional-dos-maiores-estados-produtores-de-celulose-e-papel/34564>. Acesso em: 20 fev. 2022.

FIEP – Federação das Indústrias do Estado do Paraná. Papel e Celulose. [2021]. Disponível em: [https://www.fiepr.org.br/fomentoeddesenvolvimento/cadeiasprodutivas/uploadAddress/papelcelulose \[19555\].pdf](https://www.fiepr.org.br/fomentoeddesenvolvimento/cadeiasprodutivas/uploadAddress/papelcelulose [19555].pdf). Acesso em: 20 fev. 2022.

FLEURY, Afonso. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. coordenação Paulo Augusto Cauchick-Miguel. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

FRANCHI, Claiton, M. **Controle de processos industriais: princípios e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2011.

GANGA, Gilberto Miller Devós. **Trabalho de conclusão de curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, v. 361, p. 16, 2012.

GARTNER. Information technology: gartner glossary. **Big Data**. 2021. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data>>. Acesso em: 6. Mai. 2021.

GIARRACA, Norma. TEUBAL, Miguel. Uma outra visão do agronegócio: As grandes empresas e os produtores rurais. **Portal UNESP: ACI – Assessoria de Comunicação e Imprensa**. Mai. 2006. Disponível em: <<https://www.unesp.br/aci/jornal/211/supleb.php>>. Acesso em: 29. mar. 2021.

GOLEMAN, Daniel. **Foco: a atenção e seu papel fundamental para o sucesso**. 1. ed. Tradução: Cássia Zanon. Rio de Janeiro: Objetiva. 2014.

GOLEV, Artem. CORDER, Glen. D. GIURCO, Damien, P. Barriers to industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**. v. 19. n.1 p. 141-153. DOI: 10.1111/jiec.12159. 2014.

HENNING, Christian. Mathematical models and reality: a constructivist perspective. **Foundations of Science**. V. 15. p. 29-48. DOI: 10.1007/s10699-009-9167-x. 2009.

HERCZEG, Gábor. AKKERMAN, Renzo. HAUSCHILD, Michael, Z. Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks. **Journal of Cleaner Production**. v. 171. p. 1058-1067. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.046. 2018.

HUANG, Junqin. KONG, Linghe. CHEN, Guihai. WU, Min-You. LIU, Xue. ZENG, Peng. Towards secure industrial iot: blockchain system with credit-based consensus mechanism. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**. v. 15. p. 3680 – 3689. DOI: 10.1109/TII.2019.2903342. 2019.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores | 1º trimestre de 2021**. 2021. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/cenarios/65-cenarios.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

IBM. **What is Demand Planning?**. Disponível em: <https://www.ibm.com/topics/demand-planning>. Acesso em 21, abr. 2022.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATIONAL FOR STANDARDIZATION. **ISO 22400-2:2014**: Abstract. 2014. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/54497.html>. Acesso em: 27 jul. 2021.

JESCHKE, Sabina. BRECHER, Christian. MEISEN, Tobias. ÖZDEMIR, Denis. ESCHERT, Tim. Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems. **Springer International Publishing Switzerland**. DOI: 0.1007/978-3-319-42559-7_1. 2017.

KAZA, Silpa. YAO, Lisa. BHADA-TATA, Perinaz. WOERDEN, Frank. V. What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. Washington, Estados Unidos: **World Bank Group**. 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10986/30317>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

KOSMOL, Linda. OTTO, Lena. Implementation barriers of industrial symbiosis: a systematic review. **Proceedings of the 53rd Hawaii International Conference on System Sciences**. p. 6052-6060. DOI:10.24251/HICSS.2020.741. 2020.

LARSON, Paul, D. ROGERS, Dale, S. Supply chain management: definition, growth and approaches. **Journal of Marketing Theory and Practice**. p. 1-5. DOI:10.1080/10696679.1998.11501805. 2015.

LAYBOURN, Peter. LOMBARDI, Rachel, D. Industrial symbiosis in European policy: overview of recent progress. **Journal of Industrial Ecology**. V. 16. N. 1. P. 12. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00451.x. 2012.

LIFSET, R. BOONS, F. A. A. Industrial ecology: Business management in a material world. In: **The Oxford handbook of business and the natural environment**, editado por: BANSAL P. HOFFMAN, A. p. 310–326. Oxford, Oxford University Press. 2011.

LINDBERG, Carl-Frederick. TAN, SieTing. YAN, JinYue. STARFELT, Frederick. Key performance indicators improve industrial performance. **Energy Procedia**. P. 1785-1790. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.474. 2015.

LOYOLA, Mauricio. P. **Caracterização do setor sucroalcooleiro no estado de Goiás**. Piracicaba: Grupo ESALQ-LOG. 2010. Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015/05/Caracterizacao-do-Setor-Sucroalcooleiro-no-Estado-de-Goiias-LOYOLA-M.-P.pdf>. Acesso em 15 nov. 2021.

LUKAČ, Duško. The fourth ICT-based industrial revolution “industry 4.0” – HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. **23rd Telecommunications forum TELFOR**. p. 835 – 838. DOI: 978-1-5090-0055-5/15/\$31.00. 2015.

MARQUES, Maria, L. SILVA, Everton, J. VELASCO, Fermin, G. JUNIOR, Celso, C. M. F. Potencialidades do uso de resíduos de celulose (dregs/grits) como agregado em argamassas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande. v. 16. n. 4. p.423-431, 2014. ISSN: 1517-8595.

MENATO, S., CARIMATI, S., MONTINI, E., INNOCENTI, P., CANETTA, L. SORLINI, M. Challenges for the adoption of industrial symbiosis approaches within industrial agglomerations. In **2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE. P. 1293-1299. DOI: 10.1109/ICE.2017.8280029. 2017.

MENTZER, John, T. DEWITT, Willian. KEEBLER, James, S. MIN, Soonhong. NIX, Nancy, N. SMITH, Carlo, D. ZACHARIA, Zach, G. Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 22, n. 2. 2001.

MOTA, José. A. ALVAREZ, Albino, R. (coord.). **Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais**. Brasília: IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012.

NING, Huan, Sheng. LIU, Hong. Cyber-physical-social-thinking space based science and technology framework for the Internet of Things. **Sci China Inf Sci**. v. 58. Mar. 2015.

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). **A caminho do crescimento verde: um sumário para os decisores políticos maio de 2011**. Paris: **OECD**. 2011. Disponível em: <<https://www.oecd.org/greengrowth/48536946.pdf>>. Acesso em: 30. mai. 2021.

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). Project on green growth and eco-innovation. Paris: **OECD**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/dataoecd/43/48/45169190.pdf>>. 2010. Acesso em: 20. mar. 2021.

OLIVEIRA, Edieliton, G. MENDES, Osmar. Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da resolução 307 do CONAMA. **Universidade Católica de Goiás**, Goiânia. jul. 2008.

PATRICIO, Joao. KALMYKOVA, Yuliya. ROSADO, Leonardo. A method and databases for estimating detailed industrial waste generation at different scales e with application to biogas industry development. **Journal of Cleaner Production**. v. 236. p. 1-14. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118959. 2020.

PELLICCIA, Luigi. BOJKO, Michael. PRIELIPP, Ricardo. RIEDEL, Ralph. Applicability of 3D-factory simulation software for computer-aided participatory design for industrial workplaces and processes. **14th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering**. p. 122-126. DOI: 10.1016/j.procir.2021.03.019. 2021.

POSH, Alfred. AGARWAL, Abhishek. STRACHAN, Peter. Editorial: Managing industrial symbiosis (IS) networks. **Business Strategy and the Environment**. v. 20. p. 421 – 427. DOI: 10.1002/bse.736. 2011.

ROCHA, Klayton. **Fatores motivadores para a adoção de Internet das Coisas em operações**: a perspectiva de especialistas em IoT. 2019. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2019.

RODRIGUEZ, Jemimah. **The top 8 free and open source simulation software**. GoodFirms. [2021]. Disponível em: <<https://www.goodfirms.co/blog/the-top-8-free-and-open-source-simulation-software>>. Acesso em: 18 mai. 2021.

ROSE, Karen. ELDRIDGE, Scott. CHAPIN, Lyman. The Internet of Things: an overview understanding the issues and challenges of a more connected world. **The Internet Society (ISOC)**. p. 80. Disponível em: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>. Acesso em: 1. Abr. 2021.

RURALTINS. Agroindústria. **Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Tocantins**. [2021]. Disponível em: <<https://ruraltins.to.gov.br/agroindustria/>>. Acesso em: 29. mar. 2021.

SAIKKU, Laura. **Eco-industrial parks: a background report for the eco-industrial park project at Rantasalmi**. 1. ed. Mikkeli, Finlândia: Publications of Regional Council of Etelä-Savo, 2006.

SAMPLER, Jeffrey. L. Redefining industry structure for the information age. **Strategic Management Journal**. v. 19. p. 343–355. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0266(199804)19:4<343::AID-SMJ975>3.0.CO;2-G. 1998.

SEMAGRO - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar. **A indústria sul-mato-grossense**. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/2021/05/Carta-Industria.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2021.

SEPÚLVEDA-CERVANTES, Cynthia. V. et al. Technical-environmental optimisation of the activated carbon production of an agroindustrial waste by means response surface and life cycle assessment. **Waste Management & Research**. p. 10. DOI: 10.1177/0734242X17741680. Out. 2017.

SILVA, B, Roseli. **Setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo**: mensurando impactos sócio-econômicos. Ribeirão Preto: 1º Workshop do Observatório do Setor Sucroalcooleiro abril, 2008.

SINIR. Sobre o SINIR. Ministério do Meio Ambiente. [2021]. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/sobre/>. Acesso em: 25 jun. 2021.

SONG, Bin. YEO, Zhiquan. KOHLS, Paul. HERRMANN, Christoph. Industrial symbiosis: exploring big-data approach for waste stream discovery. **Procedia CIRP**.v. 61. p. 353-358. DOI: 10.1016/j.procir.2016.11.245. 2017.

STEVENSON, M. SPRING, M. Flexibility from a supply chain perspective: definition and review. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 27. n.7 p.685 – 713. DOI: 10.1108/01443570710756956. 2007

TANIMOTO, Armando, H. **Proposta de simbiose industrial para minimizar os resíduos sólidos no pólo petroquímico de Camaçari**. 2004. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2004.

TEIXEIRA, Izabela. Plano nacional de resíduos sólidos. **Governo Federal – Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, ago, 2012. Disponível em: https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf. Acesso em: 25 jun. 2021.

TSENG, Ming-Lang; TAN, Raymond. R; CHIU, Anthony. S. F; CHIEN, chen-fu; KUO, Tsai. C. Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? **Resources, Conservation & Recycling**. P. 146-147. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.12.028. 2018.

TURKEN, Nazli. GEDA, Avinash. Supply chain implications of industrial symbiosis: A review and avenues for future research. **Resources, Conservation & Recycling**. v. 161. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104974. 2020.

VARDANEGA, R.; PRADO, Juliana. M.; MEIRELES, Maria. A. A. Adding value to agri-food residues by means of supercritical technology. **The Journal of Supercritical Fluids**. v. 96, p. 217-227. DOI: 10.1016/j.supflu.2014.09.029. 2015.

VENTANA SYSTEMS. **Vensim Help**. 2015. Disponível em: <https://www.vensim.com/documentation/index.html>. Acesso em: 20 mar. 2022.

VENTANA SYSTEMS. **Vensim® Brochure**. 2015. Disponível em: <https://vensim.com/vensim-brochure/>. Acesso em: 10 jun. 2021.

VENTANA SYSTEMS. **Vensim® personal learning edition**. 2015. Disponível em: <https://vensim.com/vensim-personal-learning-edition/>. Acesso em: 10 jun. 2021.

VILAS BOAS, Gabriela. **Resíduos da indústria de papel se transformam em bioetanol**. Jornal da USP. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-biologicas/residuos-da-industria-de-papel-se-transformam-em-bioetanol/#:~:text=A%20ind%C3%BAstria%20de%20papel%20e%20celulose%20gera%20grandes,devolvida%20aos%20rios.Em%20busca%20de%20alternativas%20na%20>. Acesso em: 20 fev. 2022.

WANG, Lihui. TÖRNGREN, Martin. ONORI, Mauro. Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. **Journal of Manufacturing Systems**. p. 11. DOI: 10.1016/j.jmsy.2015.04.008. 2015.

WIDÉN-WULFF, Gunilla. Business information culture: a qualitative study of the information culture in the Finnish insurance industry. **Information Research**. 5(3). 2000 Disponível em: <http://informationr.net/ir/5-3/paper77.html>. Acesso em: 16. mai. 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Internet of Things Guidelines for Sustainability**. Disponível em: <http://www3.weforum.org/docs/IoTGuidelinesforSustainability.pdf>. Acesso em: 20. mar. 2021.

YAZAN, Devrim, M. FRACCASCIA, L. Efficient operations of industrial symbiosis: An enterprise input-output model integrated by agent-based simulation. **25th International Input-Output Conference**. Atlantic City, New Jersey, Estados Unidos. 2017.

ZHE, Liu. YONG, Geng. HUNG-SUCK, Park. HUIJUAN, Dong. LIANG, Dong. TSUYOSHI, Fujita. An emergy-based hybrid method for assessing industrial symbiosis of an industrial park. **Journal of Cleaner Production**. p. 132 – 140. 2015.