

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA EM
SISTEMAS PRODUTIVOS

FABIO CLEMONINI PEREIRA

SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES APLICADA ÀS OPERAÇÕES DE CENTROS
DE TRIAGEM AUTOMATIZADA DE ENCOMENDAS.

São Paulo

08/2022

FABIO CLEMONINI PEREIRA

SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES APLICADA ÀS OPERAÇÕES DE CENTROS
DE TRIAGEM AUTOMATIZADA DE ENCOMENDAS.

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Prof. Dr. António César Galhardi

São Paulo

08/2022

P436s

Pereira, Fabio Clemonini

Simulação baseada em agentes aplicada às operações de centros de triagem automatizada de encomendas / Fabio Clemonini Pereira. – São Paulo: CPS, 2022.

111 f. : il.

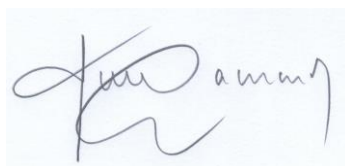
Orientador: Prof. Dr. António César Galhardi

Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2022.

1. Simulação baseada em agentes. 2. Ordenação automatizada. 3. Logística. 4. Modelagem de sistemas de produção. 5. Netlogo. I. Galhardi, António César. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

FABIO CLEMONINI PEREIRA

SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES APLICADA ÀS OPERAÇÕES DE CENTROS
DE TRIAGEM AUTOMATIZADA DE ENCOMENDAS.



Prof. Dr. António César Galhardi



Prof. Dr. João Roberto Maiellaro



Prof. Dr. Alexandre Formigoni

São Paulo, 15 de Junho de 2022

A minha família, que sempre acreditou no meu
trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo no momento mais difícil da minha vida que coincidiu com tempo de escrita desta dissertação. Obrigado Jesus.

A ideia veio como um relâmpago e num
instante a verdade foi revelada.
(Nicola Tesla)

RESUMO

PEREIRA, Fabio Clemonini. SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES APLICADA ÀS OPERAÇÕES DE CENTROS DE TRIAGEM AUTOMATIZADA DE ENCOMENDAS. 111f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia de Sistemas Produtivos). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2022.

Esta pesquisa apresenta a modelagem e simulação de operações automatizadas de classificação de pedidos em um Centro Logístico localizado na região metropolitana da cidade de São Paulo. Analisa os resultados encontrados na simulação de diferentes cenários e propõe soluções para otimizar sua capacidade de produção. A metodologia é executada, inicialmente, por meio da elaboração de um modelo conceitual dos processos logísticos, que fornece a resposta à pergunta: como simular o sistema produtivo de triagem automatizada de pedidos por meio de simulação baseada em agentes? Prossegue com a análise de publicações científicas relevantes que identificam ideias e tendências recentes sobre o tema. Em seguida, é elaborado um artefato de modelo computacional, de acordo com os preceitos da “Design Science Research”, e a linguagem de programação NETLOGO, também um Ambiente de Desenvolvimento Integrado, e utilizado para descrever os comportamentos e as relações entre os agentes e o ambiente. Por fim, experimentos de Simulação Baseada em Agentes são realizados em diferentes cenários de operações de triagem e as informações são comparadas com os dados reais. Como principal resultado, são identificados os principais indicadores de desempenho operacional que afetam diretamente a capacidade produtiva dos equipamentos, bem como são propostas novas ideias e conceitos com o objetivo de aumentar a eficiência dos processos produtivos de triagem automatizada de pedidos.

Palavras-chave: Simulação Baseada em Agentes, Ordenação Automatizada, Logística, Modelagem de Sistemas de Produção, Netlogo.

ABSTRACT

PEREIRA, Fabio Clemonini. Agent-Based Simulation Applied to Automated Order Sorting Center operations. 111f. Dissertation (Professional Master's in management and Technology of Production Systems). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2022.

This research presents the modeling and simulation of automated order sorting operations in a Logistics Center located in the metropolitan region of São Paulo city. It analyzes the found results in the simulation of different scenarios and proposes solutions to optimize its production capacity. The methodology is run, initially, through the elaboration of a conceptual model of the logistic processes, which provides the answer to the question: how to simulate the productive system of automated sorting of orders through agent-based simulation? It proceeds with the analysis of relevant scientific publications that identify recent ideas and trends on the subject. Then, a computational model artifact is elaborated, according to the precepts of "Design Science Research", and the NETLOGO programming language, also an Integrated Development Environment, and used to descript the behaviors and the relations between the agents and the environment. Finally, Agent-Based Simulation experiments are carried out in different scenarios of screening operations and the information is compared with the real data. As a main result, key operational performance indicators that directly affect the production capacity of the equipment are identified, as well as new ideas and concepts are proposed in order to increase the efficiency of the production processes of automated sorting of orders.

Keywords: Agent-Based Simulation, Automated Order Sorting, Logistics, Modeling of Production Systems, Netlogo.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Indicadores: Separação A/B, Balanceamento (Entradas) e (Saídas)	31
Quadro 2:	Descrição dos indicadores de rejeição de objetos.....	35
Quadro 3:	Diretrizes para descrição de modelos de simulação	44
Quadro 4:	Etapas de criação de software de simulação baseado em agentes	47
Quadro 5:	Itens de verificação do protocolo PRISMA	49
Quadro 6:	Materiais necessários para elaboração da análise bibliométrica.....	52
Quadro 7:	Palavras-chave de critérios de inclusão de registros.....	52
Quadro 8:	Palavras-chave de critérios de exclusão de registros	54
Quadro 9:	Diretrizes para criação de modelo de Simulação Baseada em Agentes.....	56
Quadro 10:	Função dos algoritmos de simulação	60
Quadro 11:	Elementos de controle do simulador.....	67
Quadro 12:	Contadores do simulador	69
Quadro 13:	Quadro resumo de publicações	77
Quadro 14:	Referencial teórico de modelos de triagem automatizada de encomendas.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Indicadores: quantidade, peso e volume de encomendas.....	28
Tabela 2:	Indicador: Separação A/B no plano de triagem	29
Tabela 3:	Planilha de cálculo de indicadores	31
Tabela 4:	Indicador: produção horária nas entradas	33
Tabela 5:	Indicador: quantidade de objetos por conjunto de trabalho	33
Tabela 6:	Experimento: destinação de objetos (Separação A/B).....	81
Tabela 7:	Experimento: Rejeição de Objetos.....	82
Tabela 8:	Experimento: Saídas Cheias	84
Tabela 9:	Quantidade de objetos inseridos nas entradas: Cenário-1.....	85
Tabela 10:	Quantidade de objetos inseridos nas entradas: Cenário-2.....	87
Tabela 11:	Quantidade de objetos inseridos nas entradas: Cenário-3.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Estrutura do Trabalho Científico	21
Figura 2:	Sistema logístico de captação e entrega de encomendas	25
Figura 3:	Diagrama de equipamento de triagem de encomendas.....	28
Figura 4:	Distribuição de peso de encomendas	30
Figura 5:	Indicador: produção horária.....	32
Figura 6:	Indicador: produção a cada 10min.....	32
Figura 7:	Indicador: saídas obstruídas	34
Figura 8:	Indicador: saídas obstruídas (faixa horária)	34
Figura 9:	Indicador: Total de Objetos Triados	35
Figura 10:	Indicador: Média de Objetos Triados	36
Figura 11:	Indicador: Produção Máxima.....	36
Figura 12:	Indicador: Objetos Digitados	37
Figura 13:	Indicador: Objetos Rejeitados.....	37
Figura 14:	Indicador: Rejeição e-CEP.....	38
Figura 15:	Indicador: Rejeição Two Label.....	38
Figura 16:	Indicador: Rejeição NLD.....	39
Figura 17:	Indicador: Ao Remetente	39
Figura 18:	Caminho para replicação da pesquisa	48
Figura 19:	Fluxograma de operação do simulador	59
Figura 20:	Modelo simplificado de equipamento de triagem de encomendas	63
Figura 21:	Máquina de Triagem de Encomenda do tipo “ <i>closed-loop</i> ”	63
Figura 22:	Encomendas e seus estados de comportamento de destino	64
Figura 23:	Estado de funcionamento das entradas do equipamento de triagem.....	64
Figura 24:	Carrossel do equipamento automatizado de triagem	65
Figura 25:	Saídas do equipamento automatizado de triagem.....	65
Figura 26:	Escâner de leitura de código de barras.....	66
Figura 27:	Hierarquia de modelagem em centros de triagem de encomendas	73
Figura 28:	Experimento de simulação: destinação de objetos.....	74
Figura 29:	Experimento de simulação: controle de equipamento	75
Figura 30:	Fluxograma de pesquisa bibliométrica	76
Figura 31:	Análise qualitativa: nuvem de palavras constantes dos títulos	80
Figura 32:	Monitor de produção horária: Cenário-1	86
Figura 33:	Monitor de Indicadores Operacionais: Cenário-1.....	86

Figura 34:	Monitor de objetos inseridos nas entradas: Cenário-1	87
Figura 35:	Monitor de produção horária: Cenário-2	88
Figura 36:	Monitor de Indicadores Operacionais: Cenário-2.....	89
Figura 37:	Monitor de objetos inseridos nas entradas: Cenário-2.....	89
Figura 38:	Monitor de produção horária: Cenário-3	90
Figura 39:	Monitor de Indicadores Operacionais: Cenário-3.....	91
Figura 40:	Monitor de objetos inseridos nas entradas: Cenário-3	91
Figura 41:	Tela inicial do software de simulação.....	111

LISTA DE SIGLAS

BM	Business Model
CDD	Centro de Distribuição Domiciliar
CEP	Código de Endereçamento Postal
CTE	Centro Logístico de Triagem de Encomendas
ERM	Entity Relationship Models
ODD	Overview, Design Concepts, Details
PICOS	Participants, interventions, comparisons, outcomes, study design
POM	Pattern Oriented Modelling
RPN	Rede Postal Noturna
SBA	Simulação Baseada em Agentes
TECA	Terminal de Carga
TRACE	Transparent and Comprehensive Ecological Modelling
UML	Unified Modeling Language

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
Questão de Pesquisa	19
Objetivos.....	19
Justificativa da Pesquisa	20
Estrutura do Trabalho	21
1. REFERENCIAL TEÓRICO	22
1.1 Logística de distribuição de encomendas	24
<i>1.1.1 Indicadores de desempenho operacional de triagem de encomendas</i>	<i>27</i>
1.2. Diretrizes para modelagem de software de Simulação Baseada em Agentes	39
<i>1.2.1. Etapas de criação de software de simulação baseado em agentes</i>	<i>41</i>
<i>1.2.1.1. Definição de propósitos e padrões</i>	<i>42</i>
<i>1.2.1.2. Definição de entidades, variáveis de estado, e escalas de tempo</i>	<i>42</i>
<i>1.2.1.3. Dimensionamento do tempo e espaço</i>	<i>44</i>
<i>1.2.1.4. Conceitualização do projeto de simulação</i>	<i>41</i>
<i>1.2.1.5. Parâmetros de simulação</i>	<i>46</i>
1.3. Documentação do modelo de simulação.	46
2 METODOLOGIA	48
2.1 Revisão de Literatura.....	48
2.2 Critério de seleção das publicações	52
2.3 Concepção do modelo	54
2.4 Construção do modelo	60
2.5 Modelagem dos agentes no simulador Netlogo.....	63
2.5.1 Máquina de triagem	63
2.5.2 Encomendas.....	64
2.5.3 Entradas	64
2.5.4 Bandejas	65
2.5.5 Saídas.....	65
2.5.6 Escâner de leitura de código de barras	66
2.6 Parâmetros de simulação	66
2.7 Execução dos experimentos.....	73
2.7.1 Destinação de objetos.	73
2.7.2 Rejeição de objetos e Saídas Cheias.....	74

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
3.1 Fluxograma da pesquisa bibliométrica	76
3.2 Quadro resumo de publicações	76
3.3 Nuvem de palavras de títulos de publicações do quadro resumo	80
3.4 Referencial teórico de modelos de triagem automatizada de encomendas	81
3.5 Experimento: destinação dos objetos (separação A/B)	81
3.6 Experimento: Rejeição de objetos	82
3.7 Experimento: Saídas Cheias	84
3.8 Análise de Cenários	85
3.8.1 Cenário-1. Melhoria do indicador: separação da carga (A/B)	85
3.8.2 Cenário 2. Melhoria do indicador: Saídas Cheias	87
3.8.3 Cenário-3. Melhoria do indicador: Rejeição de Objetos	89
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
4.1 Sugestões para futuros trabalhos	94
REFERÊNCIAS	95
APÊNDICES	111
4.1 APÊNDICE – A. Tela inicial do software de simulação do equipamento de triagem	111

INTRODUÇÃO

Dada a rápida evolução dos meios de comunicações que facilitam as transações financeiras entre empresas e consumidores e, à medida que o comércio eletrônico evolui, a atividade de transporte de mercadorias vendidas pela internet assume papel de destaque cada vez maior para as indústrias do setor. Como as empresas do segmento postal absorvem parcela considerável do volume comercializado nesta modalidade, novas expectativas de padrões de qualidade e de atendimento têm sido exigidas pelos seus clientes, (LAZAREVIĆ; DOBRODOLAC, 2020).

A União Postal Universal (UPU), entidade internacional que regula a atividade postal no mundo, estabelece três principais dimensões para o desenvolvimento sustentável: econômica, social e ambiental, (LAZAREVIĆ; DOBRODOLAC, 2020). Neste sentido, os prestadores de serviços postais e de entrega de encomendas devem satisfazer às necessidades da população com alto padrão de qualidade, garantia da sustentabilidade financeiro econômica da empresa, além de atender aos princípios de proteção ambiental percebidos pela sociedade e exigidos pela legislação vigente.

Destaca-se a necessidade de aumento da rentabilidade financeira por meio da redução da frequência de entregas, estabelecimento de novas modalidades de distribuição, segmentação geográfica para readequação de políticas de preços e prazos, redução da quantidade de unidades operacionais, e revisão do escopo de produtos oferecidos (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMES; COPENHAGEN ECONOMICS, 2018).

Ainda que o mercado de serviços postais tenha experimentado recente declínio em virtude dos avanços das tecnologias que substituíram as tradicionais formas de comunicações em papel por digitais, (VADIVEL; SEQUEIRA, 2020); conforme Bolari (2017); Janjevic Merchán e Winkenbach (2021); Van *et al.* (2020); Zheng, Morimoto e Murayama (2020), a evolução do comércio eletrônico tem impulsionado as empresas do setor a adaptar seus negócios no sentido de flexibilizar prazos de entrega, aumentar o detalhamento e a precisão das informações fornecidas, promover maior satisfação dos clientes e melhorar os padrões de qualidade por meio de novas estratégias comerciais e de reorientação da cultura organizacional.

Neste sentido, gerenciar o sistema produtivo tem se tornado um grande desafio para os administradores das empresas de triagem e entrega de encomendas, mesmo que as atuais

tecnologias tenham permitido maior precisão no controle das operações logísticas, (TRAPPEY *et al.*, 2017). Desta forma, prever corretamente a demanda operacional é uma habilidade crítica do negócio que permite aumentar a eficiência dos recursos empregados no processo produtivo, especialmente nas ocasiões sazonais e datas específicas em que o comércio usualmente apresenta picos nas vendas (BARBOSA; ZAMBUZI, 2020; FIGUEIREDO; DE SOUZA; SPINOLA, 2020).

A demanda está diretamente relacionada ao custo operacional refletido no valor da tarifa, ao nível de segurança, à confiabilidade dos processos, e à disponibilidade do serviço postal (DROŹDZIEL *et al.*, 2017); também depende de fatores sociais e econômicos, tais como o perfil demográfico e a renda da população (WOLLENBURG, 2016), o que torna a distribuição e a concentração territorial dos pontos de entrega de encomendas aleatória e não uniforme. Tais fatos aumentam a complexidade e comprometem a previsibilidade das operações.

A metodologia adotada para a consecução deste estudo é conduzido com base nas técnicas de “*Design Science Research*” (APIOLA; SUTINEN, 2021). Tal escolha justifica-se por se tratar da melhor abordagem para a elaboração e desenvolvimento de software computacional que integra conhecimentos científicos de engenharia, matemática, e tecnologias de desenvolvimento de software.

Para auxiliar a replicação dos experimentos por futuros pesquisadores, a concepção de um aplicativo de software em “Simulação Baseada em Agentes” segue as seguintes diretrizes: “*Overview, Design Concepts, Details*” – ODD (GRIMM *et al.*, 2020). A escolha por esta técnica se justifica pois ela prioriza instruções textuais que facilitam a leitura e o entendimento de algoritmos de desenvolvimento de sistemas computacionais de software de simulação. O produto tecnológico deste trabalho é a criação de um aplicativo de software em linguagem de programação Netlogo, seguindo-se as etapas: construção de um modelo conceitual das operações de triagem de encomendas, desenvolvimento da arquitetura do sistema e identificação dos agentes, análise e elaboração de algoritmos, elaboração de protótipo, e validação do modelo com base em dados reais extraídos do equipamento de triagem.

Questão de Pesquisa

É possível estudar um sistema produtivo de triagem automatizada de encomendas, por meio da Simulação Baseada em Agentes?

Objetivos

Geral

Apresentar resultados de Simulação Baseada em Agentes da realidade das operações de triagem automatizada de encomendas e propor soluções para aumentar a capacidade do sistema produtivo por meio do desenvolvimento de software computacional programado na linguagem: Netlogo.

Específicos Apresentar o sistema produtivo de triagem automatizada de encomendas;

2. Apresentar o processo de criação de software de simulação computacional;
3. Identificar os agentes que compõem o sistema produtivo;
4. Construir artefato de software de simulação computacional;
5. Desenvolver experimentos de simulação;
6. Prever e comparar possíveis cenários operacionais de triagem de encomendas;
7. Apresentar os possíveis ganhos e contribuições de um modelo de simulação baseada em agentes;
8. Demonstrar as vantagens da Simulação Baseada Agentes para simular as operações de triagem automatizada de encomendas, em relação à Simulação de Eventos Discretos.

Justificativa da Pesquisa Dada a importância das operações logísticas de entrega de encomendas, que atua diariamente em mais de 5.560 municípios do território nacional. Esta pesquisa preenche uma lacuna de estudos acadêmicos a respeito de Simulações Baseada em Agentes de sistemas produtivos de triagem automatizada de encomendas, no Brasil.

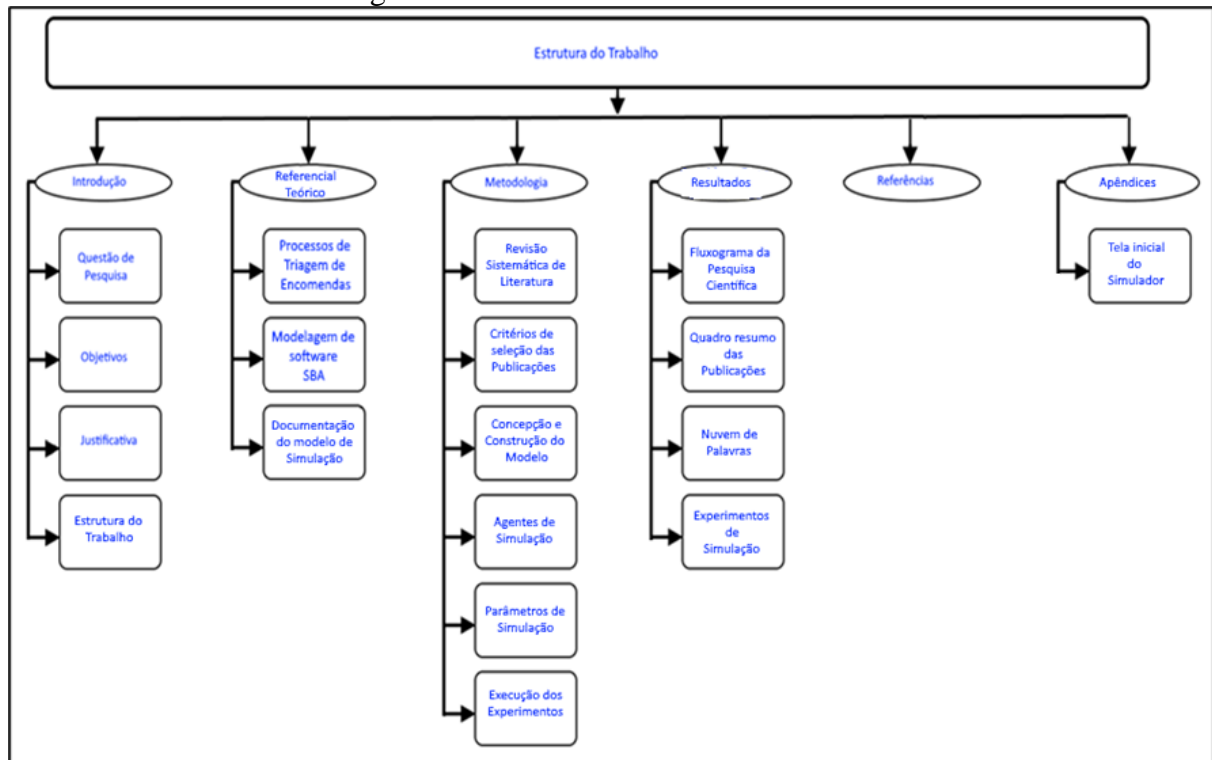
Como a demanda por serviços postais está diretamente atrelada aos indicadores de qualidade operacional, a criação do modelo proposto contribui para a melhoria do planejamento das necessidades de investimentos de aquisição de novos equipamentos, bem como contratação de pessoal e aumento da estrutura de transporte e distribuição porta a porta de encomendas.

A utilização da linguagem de programação Netlogo para simular processos logísticos abre uma nova fronteira de possibilidade de aplicação desta importante ferramenta – que notoriamente encontra campo de aplicação focado em pesquisas nas áreas de Ciências Médicas e Biológicas.

A partir da criação de cenários, é possível identificar as causas que limitam o aumento da eficiência do sistema de produção. Sendo assim, uma vez corrigidas as falhas identificadas, é possível aumentar a competitividade da empresa frente aos demais concorrentes do setor.

Os modelos computacionais obtidos com este trabalho não se atêm apenas aos processos de triagem de encomendas, mas também podem ser adaptados aos demais ramos da indústria, especialmente na otimização de processos de manuseio de materiais da cadeia logística de suprimentos.

Estrutura do Trabalho Figura 1: Estrutura do trabalho científico.



Fonte: o autor.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Abar *et al.* (2017) e Larsen (2018), a simulação computacional é caracterizada pela elaboração de linhas de códigos, em linguagens de programação específicas para construir software compostos por modelos, algoritmos, fórmulas, e equações matemáticas que emulam num ambiente controlado as causas e efeitos de fenômenos observados na realidade de sistemas produtivos. Por sua vez, a Simulação Baseada em Agentes (SBA) é tipicamente caracterizada em termos de comportamentos de seus agentes manifestados pelo cumprimento de regras, execução de procedimentos, ações e interações entre máquinas e pessoas.

Essas técnicas encontram espaço nas áreas de gestão de operações: Ronald, Thompson e Winter (2015) investigam aplicações da Simulação Baseada em Agentes para o estudo da infraestrutura de transportes, e identificam que estão focadas na melhoria de roteiros de viagens sem que as preferências e necessidades pessoais dos operadores sejam consideradas; concluem que a simulação pode incorporar tais preferências e capturar a interação entre os operadores e os clientes para aprimorar as operações logísticas.

Oliveira, Lima Montevechi (2016) analisam as ferramentas disponíveis para simular operações logísticas da cadeia de suprimentos por meio de uma revisão sistemática de literatura e análise de 189 publicações qualificadas a respeito do tema e identificam as ferramentas computacionais mais utilizadas: Arena® (14,08%), Matlab® (9,86%), Java® (7,74%), iThink® (4,93%), Anylogic® (4,22%), C++ ® (4,22%), Extendsim® (4,22%), Promodel® (4,22%), Simprocess® (3,52%), e MS Excel® (2,81%). Neste estudo, constatam que a simulação de eventos discretos é a mais utilizada com 42,26% das publicações analisadas e, na sequência, a Simulação Baseada em Agentes com 18,45% o que denota a importância deste método.

Nesta mesma linha de pesquisa, Abar *et al.* (2017) apresentam uma extensa revisão sistemática de literatura a respeito das tecnologias computacionais aplicáveis à modelagem de processos e Simulação Baseada em Agentes. Este estudo contempla 85 linguagens e aplicativos de programação, o que torna este trabalho uma relevante referência para estudantes, engenheiros, pesquisadores e profissionais do ramo que buscam selecionar as ferramentas mais adequadas para projetar modelos e protótipos de software de simulação baseados em agentes.

Sha e Srinivasan (2016) estudam a cadeia de suprimentos de produtos químicos ao propor ajustes na política de alocação de recursos para otimizar as operações de transporte e reduzir custos operacionais. Auld *et al.* (2016) discutem o desenvolvimento de uma plataforma de programação chamada POLARIS que se utiliza de técnicas de simulação dinâmica para analisar a demanda por transportes, cadeia de suprimentos e operações logísticas.

A abordagem de simulação tem encontrado vasto campo de aplicações no ramo logístico, a exemplo do estudo de Pandian e Abdul-kader (2017) que a utilizam para avaliar o desempenho da logística reversa empresarial e sugerem melhorias no processo produtivo por meio da identificação de gargalos operacionais; e de Nuzzolo, Persia e Polimeni (2018) que identificam uma série de empregos no planejamento e administração de fretes, roteirização de veículos, gestão de centros de armazenagem, sistemas de entregas, transporte e de distribuição de mercadorias.

Utomo *et al.* (2018) revisam as aplicações da Simulação Baseada em Agentes na administração e planejamento da cadeia de suprimentos de produtos agrícolas e constataam que o relacionamento de colaboração e competição entre compradores e vendedores tem sido pouco investigado em pesquisas científicas, o que torna tal situação uma oportunidade para futuros estudos.

Crainic, Perboli e Rosano (2018) identificam a simulação como um meio para o emprego de técnicas de pesquisa operacional, modelagem de processos produtivos, e gestão de atividades logísticas de transporte, além de apoiar a tomada de decisão estratégica nas operações e no negócio. Neste estudo, classificam tendências para a adequada administração de sistemas intermodais de transporte e gestão de fretes.

Nuzzolo, Persia e Polimeni (2018) verificam na Simulação Baseada em Agentes uma ferramenta adequada para pesquisa e aprimoramento das atividades logísticas de distribuição e fretes ao utilizar seis critérios para classificar a literatura pertinente ao tema. Identificam os agentes correspondentes a cada uma das partes interessadas, bem como regras e formas de aprendizagem adquiridas no relacionamento e interação entre eles.

Bucci, Calley e Green (2018) avaliam as tecnologias disponíveis de Simulação Baseada em Agentes sobre as operações de transporte e constataam sua aplicabilidade em diversas atividades logísticas correlatas tais como planejamento e medidas de segurança nas rodovias, e concluem que esta abordagem está em constante expansão.

Kamdar, Paliwal e Kumar, (2018) apresentam um amplo estudo sobre vários aspectos de sistemas de simulação baseados em agentes e explicam conceitos básicos e suas diversas nomenclaturas. Comparam padrões de construção e arquiteturas de sistemas, identificam aplicações desta tecnologia para otimização de processos e lista plataformas de programação de software.

Larsen (2018) analisa e avalia os benefícios da utilização das linguagens de programação de sistemas de Simulação Baseada em Agentes empregadas em processos de atividades logísticas em unidades de emergência de saúde. Sua pesquisa inclui plataformas de programação de comportamento de agentes, ambientes de simulação, e protocolos de comunicação.

De Souza (2019) aborda a temática da logística de desastres por meio da linguagem de programação Netlogo. Iannino *et al.* (2020) constroem cenários para prever como os agentes dos sistemas de produção reagem a eventos inesperados, tais como: falhas em equipamentos, produtos defeituosos, e sobrecarga de trabalho sobre máquinas.

Cardoso e Ferrando (2021) verificam que a Simulação Baseada em Agentes faz parte das tecnologias de inteligência artificial, uma vez que os agentes tomam suas próprias decisões baseadas em suas experiências conforme interação entre eles e com o ambiente. Identificam uma série de técnicas e linguagens de programação disponíveis para o projeto e planejamento de sistemas computacionais de simulação.

Por fim, dado que as tecnologias da informação e das ciências da computação possuem evidente importância para o planejamento de atividades logísticas complexas (VAN HEESWIJK; MES; SCHUTTEN, 2018), este trabalho colabora com a ampliação do conhecimento a respeito da aplicação da Simulação Baseada em Agentes em sistemas produtivos logísticos e identifica linguagens de programação, autores e publicações relevantes para o tema.

1.1. Logística de distribuição de encomendas

O sistema logístico de captação e distribuição de objetos postais é composto por uma vasta rede de unidades operacionais logísticas interconectadas por uma malha de veículos de transporte de carga conforme ilustrado na Figura 2, (DROŹDZIEL *et al.*, 2017). Um Centro Logístico de Triagem de Encomendas faz parte desta rede e tem como principais atividades: descarregamento de veículos leves e pesados, triagem de pacotes em máquina automatizada,

Por meio de observação participante realizada no local de execução das atividades, constata-se que o processo de triagem automatizada de encomendas inicia-se assim que os veículos estacionam nas docas dos entrepostos. Em seguida, os contêineres são desembarcados e movimentados até a área de entrada do equipamento onde são posicionados nas entradas para que os pacotes sejam manualmente inseridos na esteira mecânica da máquina que, na sequência, efetua a leitura do código de barras constantes dos invólucros, mede as dimensões de peso, comprimento, largura, altura, volume e procede corretamente com o encaminhamento às respectivas saídas, conforme plano eletrônico de triagem. Então, após descarregadas das estações de saída, as encomendas são colocadas em contêineres devidamente rotulados com a indicação dos respectivos destinos. Por fim, estes são novamente movimentados até a área de armazenamento para posterior embarque nos veículos.

As operações de triagem de encomendas são realizadas em três turnos de trabalho no sistema 24 horas, 7 dias da semana. No período da tarde, até o início do turno da noite, são triados os objetos expressos com destino aos outros estados da federação; durante a madrugada, é realizado o tratamento de objetos expressos com destino à região metropolitana da cidade de São Paulo e, pela manhã, é efetuado o tratamento de objetos não expressos, ou seja, aqueles cujas datas de postagem podem superar dois dias ou mais, conforme os prazos contratuais.

A finalização do sistema logístico é concretizada com a entrega das encomendas pelos Centros de Distribuição aos destinatários e, de acordo com Macharis *et al.*, 2018, ocorre usualmente em duas modalidades: entrega na residência do cliente ou, retirada em uma unidade operacional logística mais próxima.

Caso não seja possível efetivar a entrega aos destinatários, as encomendas são reinseridas no fluxo logístico no sentido reverso, ou seja, com destino ao remetente, sendo estes os motivos mais frequentes: destinatário ausente, endereço insuficiente, mudança de endereço, e recusa de recebimento por conveniência do cliente.

Mangiaracina *et al.* (2015) destacam a distribuição como a atividade de transporte mais importante e Macharis *et al.* (2018) identificam que a modalidade de entrega mais comum tem sido a porta-a-porta. De acordo com Lazarević *et al.* (2020), tal atividade é uma das mais críticas a serem organizadas no sistema logístico postal.

A entrega das encomendas nas residências dos destinatários convalida o processo de vendas de mercadorias adquiridas por meio do comércio eletrônico e, conforme Baldi *et al.* (2019) e Morimoto *et al.* (2020), esta é a etapa do sistema logístico mais difícil de ser controlada

pois é necessário garantir que o produto certo seja entregue no lugar certo e no tempo certo; além disso, ela é considerada a menos eficiente de todo o sistema produtivo, (BECKERS *et al.*, 2017) e (DABLANC *et al.*, 2016).

Nas áreas urbanas, dada a concentração populacional e a infraestrutura viária, o modal de transporte mais utilizado é o terrestre, o que requer a necessidade de se manter uma grande frota de veículos destinados para transporte e entrega de encomendas nas residências dos clientes, (LAZAREVIĆ *et al.*, 2020).

Beckers *et al.* (2017) identificam que a grande competição entre as empresas do setor, as eventuais falhas, atrasos, extravios, avarias, as exigências da legislação e a orientação para a sustentabilidade ambiental impelem as empresas a procurar cada vez mais formas de reduzir custos. Estudos de Bandeira *et al.* (2017), Macharis *et al.* (2018), Rosanoa e Perbolia. (2019), Lazarević *et al.* (2020), Dobrodolac *et al.* (2020), e o relatório Global Postal Industry Report (2020) colaboram com esta tese ao apontar que tais fatores influenciam negativamente os custos operacionais da logística de distribuição de encomendas.

No entanto, a busca pela redução de custos deve ser feita de forma adequada tal que não impacte negativamente o nível de qualidade do serviço, (HOU *et al.*, 2015). Neste sentido, estudos de Drożdziel *et al.* (2017) e Bretin *et al.* (2018) apontam para as seguintes formas de reduzir custos operacionais na distribuição e transporte de encomendas: diminuição da distância percorrida pelos veículos, otimização, planejamento, organização e controle do fluxo postal desde o recebimento até a efetivação da entrega.

A escolha da empresa foco desta pesquisa ocorreu em razão de ela estar presente em todos os municípios do território nacional, possuir mais de cem anos de existência e gozar de alta credibilidade operacional frente aos clientes.

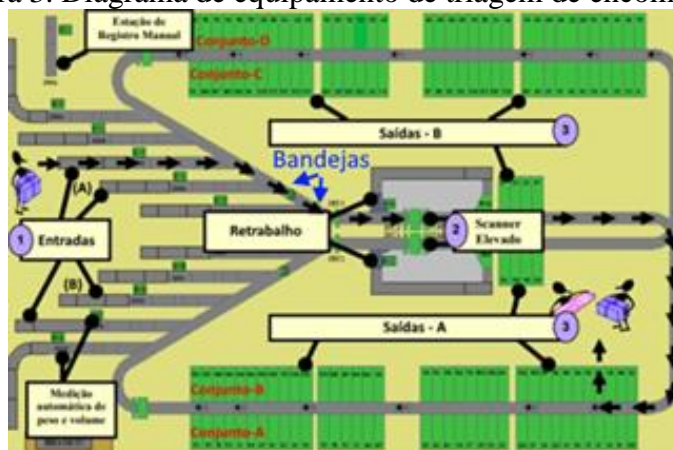
1.1.1 Indicadores de desempenho operacional de triagem de encomendas

Conforme Cruz (2007), equipamentos automatizados de triagem de encomendas têm exercido papel essencial na cadeia de suprimentos dos prestadores de serviços de entrega. Manuseiam grande quantidade de objetos e são compostos por múltiplas estações de entrada e de saída, um conjunto de esteiras de transporte, diversos sensores eletrônicos, e um sistema de informações que identifica e classifica as encomendas.

De acordo com Liu e Liu (2014), no sistema *Tilt-Tray* (bandeja de inclinação, de equipamento de triagem, os pacotes são transportados em carretas que tombam para o lado direito ou esquerdo, conforme arranjo físico do equipamento. Embora os dados desta pesquisa

sejam extraídos deste tipo de equipamento, os resultados podem ser extrapolados para o sistema *cross belt* (cinto cruzado). A Figura 3 ilustra um equipamento automatizado de triagem. Na prática, ocorre a interligação de duas máquinas independentes, designadas por: A e B, cada qual com suas respectivas entradas e saídas.

Figura 3. Diagrama de equipamento de triagem de encomendas.



Fonte: adaptado de Cruz (2007).

No intuito de identificar os indicadores de desempenho operacionais de triagem automatizada de encomendas, foi conduzido um estudo com base no histórico dos dados extraídos do sistema de informação do equipamento de triagem e cujos resultados apontam para que a máxima produção é obtida quando todos os objetos inseridos no Equipamento A são direcionados às respectivas saídas do Equipamento A (o mesmo para o Equipamento B). Além disso, índices de rejeição e de saídas cheias, ambos iguais a zero.

A Tabela 1 apresenta os indicadores: quantidade, peso e volume de encomendas de uma operação de triagem de encomendas expressas processadas em Centro Logístico de Triagem de Encomendas de uma unidade logística situada na região metropolitana de São Paulo, onde as letras: A, B, C, e D representam setores de trabalho, e os números: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 identificam o funcionário; desta forma a designação A1 significa: Setor A/Funcionário-1, e assim por diante.

Tabela 1. Indicadores: quantidade, peso e volume de encomendas.

Funcionário	Qtd (objetos)	Peso (gramas)	Volume (litros)
A1	1.608	1.254.790	874.330
A2	2.310	1.825.405	1.173.927
A3	2.434	1.692.505	1.110.826
A4	1.430	1.591.650	1.082.713
A5	2.380	2.077.570	1.328.529
A6	1.311	1.249.960	774.486
B1	1.449	1.666.495	1.050.374

B2	1.026	2.363.370	1.432.932
----	-------	-----------	-----------

Tabela 1. Indicadores: quantidade, peso e volume de encomendas, (continuação).

Funcionário	Qtd (objetos)	Peso (gramas)	Volume (litros)
B3	1.159	1.785.820	1.050.265
B4	1.421	1.832.870	1.150.253
B5	1.279	1.702.255	1.001.502
B6	1.402	1.960.080	1.248.103
B7	1.214	1.158.445	803.651
C1	1.317	1.383.225	1.004.553
C2	830	1.215.060	800.582
C3	1.623	1.643.710	1.140.413
C4	1.044	1.418.650	944.561
C5	1.166	1.421.615	1.209.901
C6	1.120	1.106.600	814.652
C7	385	343.860	223.381
C8	578	584.445	447.320
C9	1.560	1.338.465	784.571
D1	1.545	1.489.965	1.008.706
D2	1.354	1.360.885	923.968
D3	2.409	2.717.225	1.960.228
D4	2.310	3.526.065	2.616.751
D5	1.033	1.035.630	766.171
D6	2.164	4.048.510	2.669.005
Total Geral	40.861	46.795.125	31.396.654

Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

A Tabela 2 apresenta o indicador: separação A/B no plano de triagem a partir de análise estatística descritiva, com os quartis de CEP observados numa operação de tratamento de encomendas expressas.

Conforme Martins (2014), a **mediana** é a medida estatística adequada para identificar o centro da uma amostra de dados. Desta forma, constata-se equilíbrio na divisão e alocação de objetos nas faixas de CEP: Entrada – A de 00000-000 até 13100-999, e Entrada – B de 13101-000 até 99999-999.

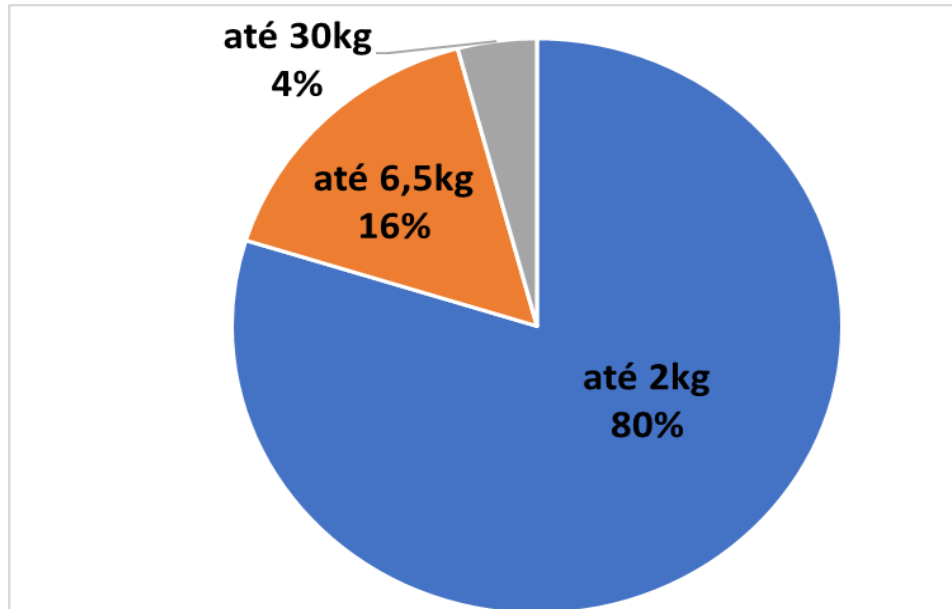
Tabela 2. Indicador: Separação A/B no plano de triagem.

Quartil	CEP
Q1 (25%)	07699-999
Q2 (50%)	13100-999
Q3 (75%)	24230-999
Q4 (100%)	99999-999

Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

A Figura 4 ilustra a distribuição de peso de uma típica operação de triagem de encomendas expressas em Centro Logístico de Triagem de Encomendas.

Figura 4. Distribuição de peso de encomendas.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

Conforme Fedtke e Boysen (2017), a disponibilidade de bandejas transportadoras em um equipamento automatizado de triagem de encomendas influencia diretamente seu desempenho, trata-se do chamado “*Destination Assignment Problem*”, em inglês: Problema de Alocação de Destino.

Fedtke e Boysen (2017) concluem que a quantidade total de bandejas de um equipamento de triagem, o que reflete o tamanho do carrossel de transporte projetado pelo fabricante, pouco interfere no seu desempenho. Além disso, informa que o aumento da quantidade de estações de entrada possui limitada capacidade de incremento na produção. No entanto, constata que a melhoria do indicador: Separação Entradas (A/B), descrito no Quadro 1, aumenta consideravelmente o nível de produtividade.

A Tabela 3 sugere forma de calcular o indicador: Separação A/B nas entradas do equipamento. Por meio de planilhas eletrônicas; os erros são destacados em (vermelho) nas células: B4, C3, E4, F3, H4, I3; e acertos em (verde), nas células: B3, C4, E3, F4, H3, I4. Tipicamente, são três os tipos de objetos classificados pelo equipamento automatizado de triagem, conforme as dimensões de peso e volume: malotes, envelopes e pacotes.

Tabela 3. Planilha de cálculo de indicadores.

Linha/Coluna	1	2	3	4	5
A	Tipo	Entrada	Saída – B	Saída – A	Total Geral
B	MALOTES	B	49	13	62
C		A	52	41	93
D	Total		101	54	155
E	ENVELOPES	B	12223	3876	16099
F		A	4238	13401	17639
G	Total		16461	17277	33738
H	PACOTES	B	2153	1509	3662
I		A	1377	1929	3306
J	Total		3530	3438	6968
K	Total Geral		20092	20769	40861

Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

As referências das células utilizadas nos cálculos do Quadro 1 também são representadas no formato para uso em planilhas eletrônicas, onde ABS se refere à função número absoluto.

Quadro 1. Indicadores: Separação A/B, Balanceamento (Entradas) e (Saídas).

Média CTE	Cálculo (Planilha Eletrônica)	Meta	Valor Aferido
Separação Entradas (A/B)	$= (B3+C4+E3+F4+H3+I4) / K5$	100%	73%
Balanceamento (Entradas)	$= 1 - \text{ABS} (B5+E5+H5-C5-F5-I5) / (K5)$	100%	97%
Balanceamento (Saídas)	$= 1 - (\text{ABS} (K3-K4)) / K5$	100%	98%

Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

Para analisar a interferência do nível de separação de objetos nas entradas sobre a produção máxima do equipamento de triagem, são conduzidos ensaios de simulação que comprovam que, quanto melhor o índice de separação A/B nas entradas, maior é a produção.

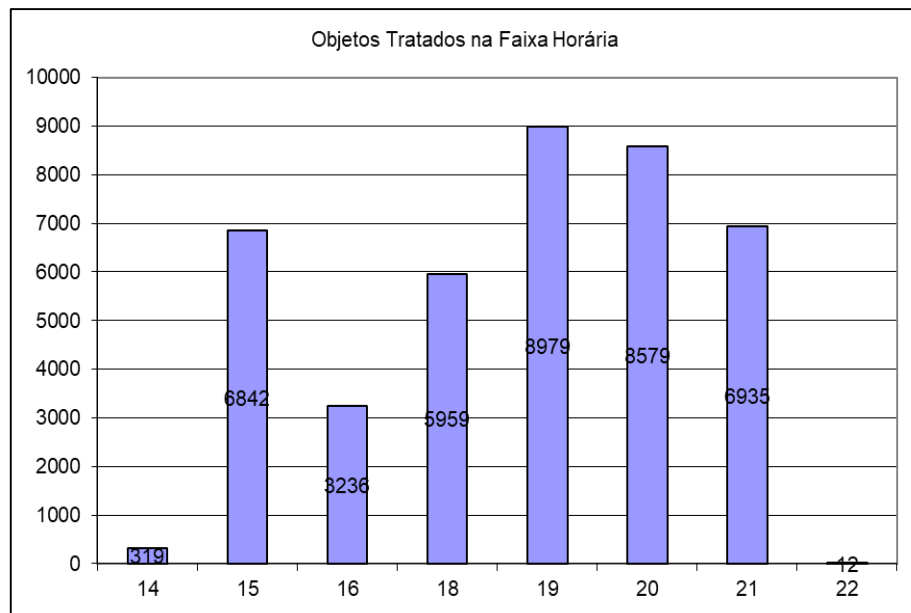
Neste sentido, para aumentar a qualidade deste indicador, uma das alternativas identificadas é elaborar plano de triagem equilibrado tal que preveja exatamente a metade dos objetos inseridos nas Entradas – A e a outra metade nas Entradas – B.

Outra ação necessária é a correta identificação dos contêineres movimentados nas áreas de transferência de carga e nos entrepostos.

Por fim, constatou-se que a quantidade de objetos produzida por hora é o indicador chave de desempenho de um equipamento automatizado de triagem de encomendas, pois reflete diretamente o resultado e a qualidade de todo o trabalho desenvolvido no centro logístico.

A Figura 5 apresenta a evolução da produção horária do início até o fim de uma operação de triagem. Este indicador aponta para a necessidade de encerramento das atividades o mais cedo possível no sentido de adiantar o encaminhamento da carga aos centros de distribuição domiciliar logo nas primeiras ligações de linhas de transporte, durante a madrugada.

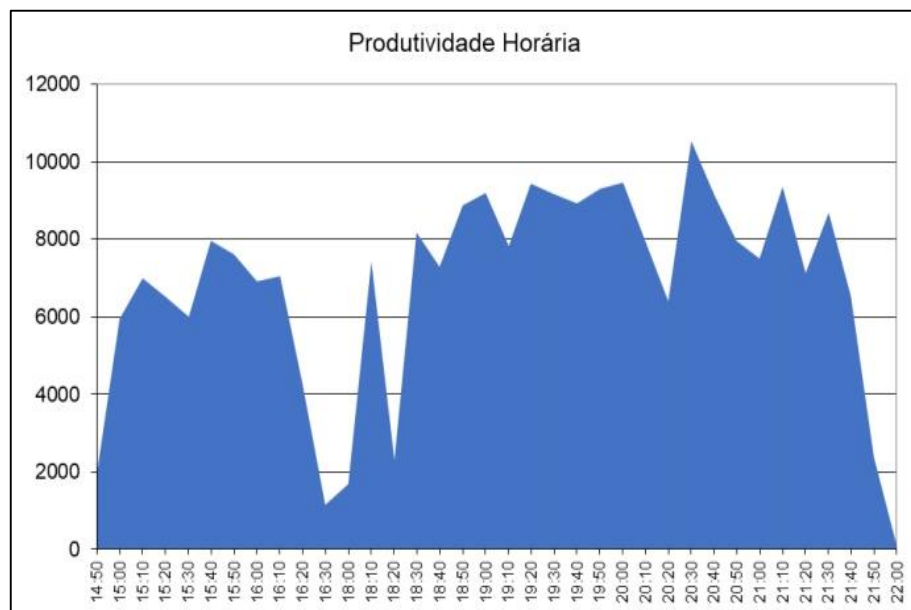
Figura 5. Indicador: produção horária.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

A Figura 6 apresenta a mesma informação da Figura 5, porém computada a cada 10 minutos para melhor acompanhamento dos vales de produção ocasionados por interrupções inesperadas na operação do equipamento de triagem.

Figura 6. Indicador: produção a cada 10min.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

O Tabela 4 demonstra a quantidade de objetos inseridos nas Entradas por faixa horária num dado turno de trabalho. Esta medida é utilizada para acompanhar o desempenho de cada funcionário posicionado na respectiva Entrada.

Tabela 4. Indicador: produção horária nas entradas.

Entrada/Hora	14h	15h	16h	18h	19h	20h	21h	22h	Objetos
Retrabalho 1	3	118	91	162	220	209	240	4	1047
Retrabalho 2	5	122	77	126	192	196	178	7	903
Entrada 1	11	872	557	140	710	995	760		4045
Entrada 2	35	687	342	901	994	724	706		4389
Entrada 3	34	621	389	779	1031	762	735		4351
Entrada 4	14	385	204	589	890	845	745		3672
Entrada 5	57	776	372	279	726	753	496	1	3460
Entrada 6	49	179		725	775	720	560		3008
Entrada 7	34	983	246	643	973	1026	707		4612
Entrada 8	40	667	327	615	869	793	609		3920
Entrada 9	11	807	379	701	871	694	610		4073
Entrada 10	26	625	252	299	728	806	571		3307
Manual 1						56	18		74
Total	319	6842	3236	5959	8979	8579	6935	12	40861

Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

O Tabela 5 apresenta a quantidade de objetos triados por conjunto de saídas. Este indicador interfere no indicador de saídas congestionadas e fundamenta a alocação de quantidade de funcionários nos setores.

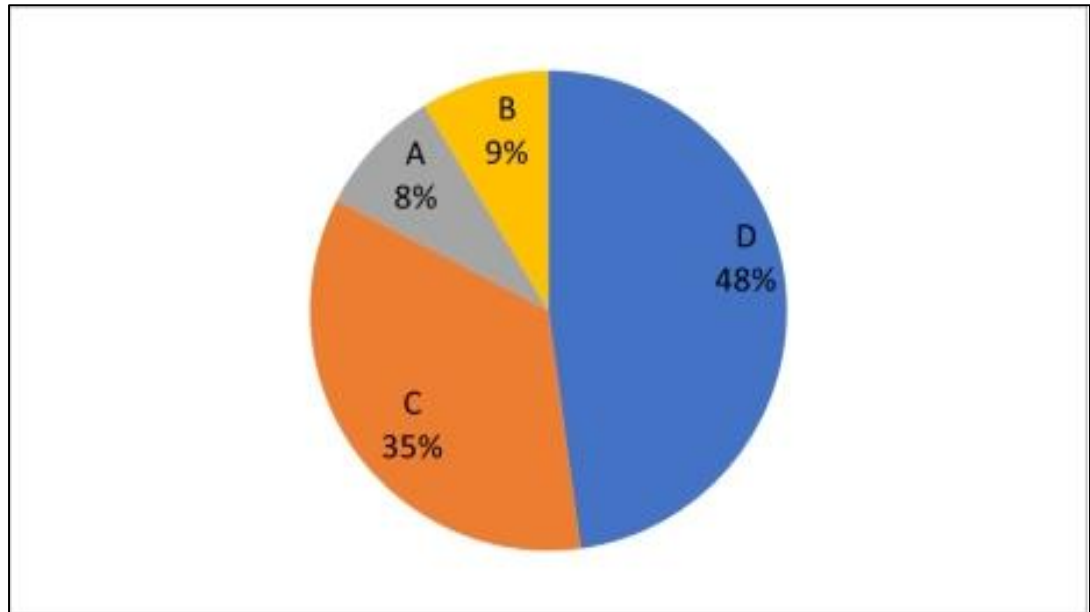
Tabela 5. Indicador: quantidade de objetos por conjunto de trabalho.

Conjunto	Objetos
A	11.473
B	8.950
C	9.623
D	10.815
Total	40.861

Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

A Figura 7 ilustra o percentual de conjunto de saídas obstruídas. Este indicador é do tipo quanto menor, melhor.

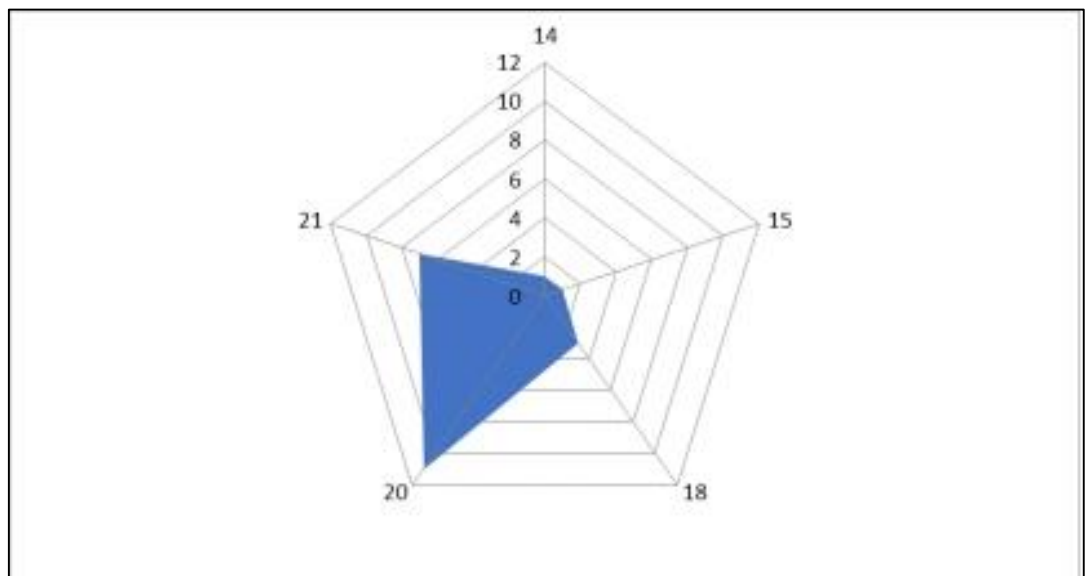
Figura 7. Indicador: saídas obstruídas.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

A Figura 8 apresenta a mesma informação, porém com destaque para incidência na faixa horária.

Figura 8. Indicador: saídas obstruídas (faixa horária).



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Abril 2021.

A partir da Figura 9 até a Figura 17, são apresentadas as médias estatísticas de cinco operações de triagem de encomendas expressas, trata-se de uma maneira eficiente de acompanhamento de desempenho de atividades logísticas tal que permita a visualização da tendência de curto prazo do desempenho e da qualidade operacional. O Quadro 2 apresenta as siglas e a descrição dos indicadores de retrabalho de máquina.

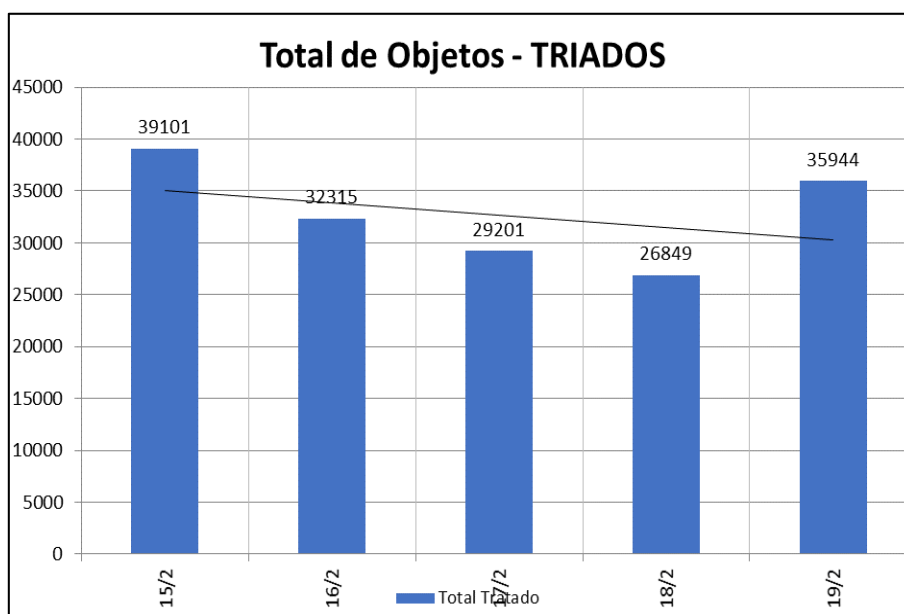
Quadro 2. Descrição dos indicadores de rejeição de objetos.

Figura	Causas do Retrabalho
Figura 12	Objetos Digitados: total de objetos triados de forma não automatizada.
Figura 13	Saídas de Rejeitos: quantidade de objetos destinados às saídas de rejeição.
Figura 14	e-CEP: falta de informação de CEP no banco de dados.
Figura 15	<i>Two Label</i> : dois objetos na mesma carreta.
Figura 16	NLD: nenhum código de barras lido pelo leitor óptico.
Figura 17	Ao Remetente: objetos digitados na logística reversa do fluxo postal.

Fonte: o autor.

A Figura 9 apresenta o indicador: total de objetos triados. Sua variação ocorre em função da demanda por serviços postais nas agências de atendimento aos clientes. Ele auxilia na alocação de recursos: pessoas, insumos de produção e veículos de transporte de carga.

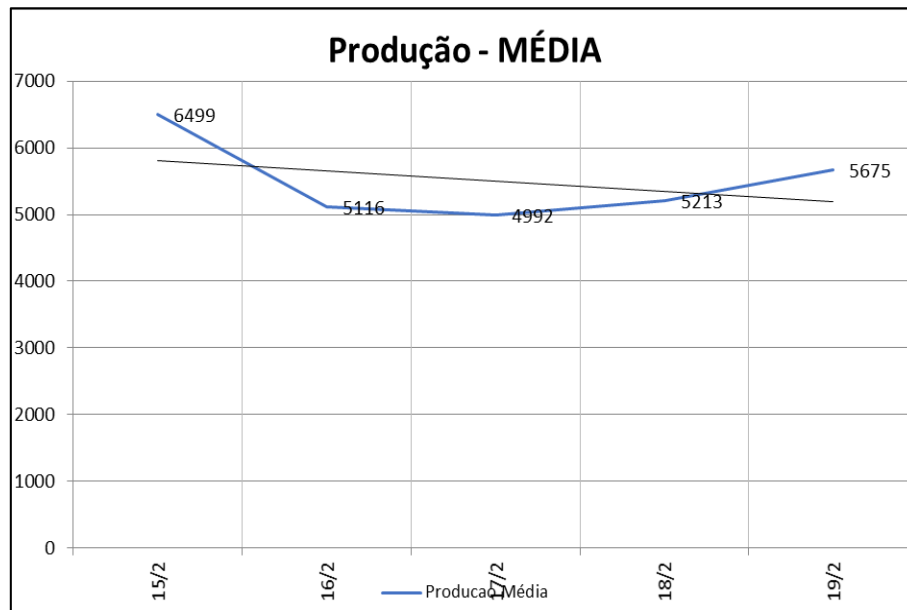
Figura 9. Indicador: total de objetos triados.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 10 apresenta o indicador: produção média. A variação ocorre em função da quantidade de objetos triados no intervalo de tempo. Quanto maior a quantidade de objetos e, concomitantemente, menor o tempo da operação de triagem automatizada de encomendas, melhor.

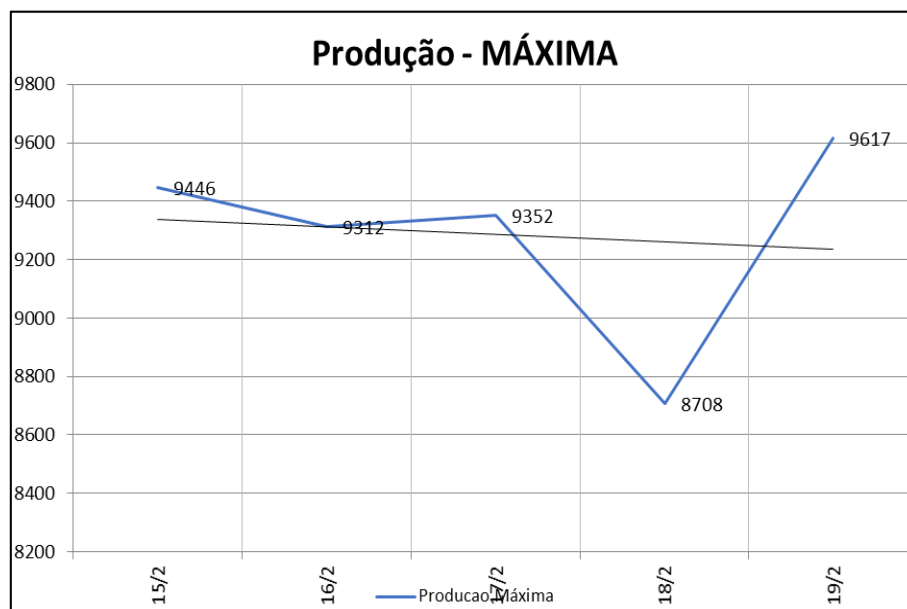
Figura 10. Indicador: média de objetos triados.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 11 apresenta o indicador: produção máxima. Quanto menor a sua variação, melhor; e quanto mais próximo da capacidade máxima instalada do equipamento automatizado de triagem, melhor. Produção máxima simulada de 12.600 objetos por hora.

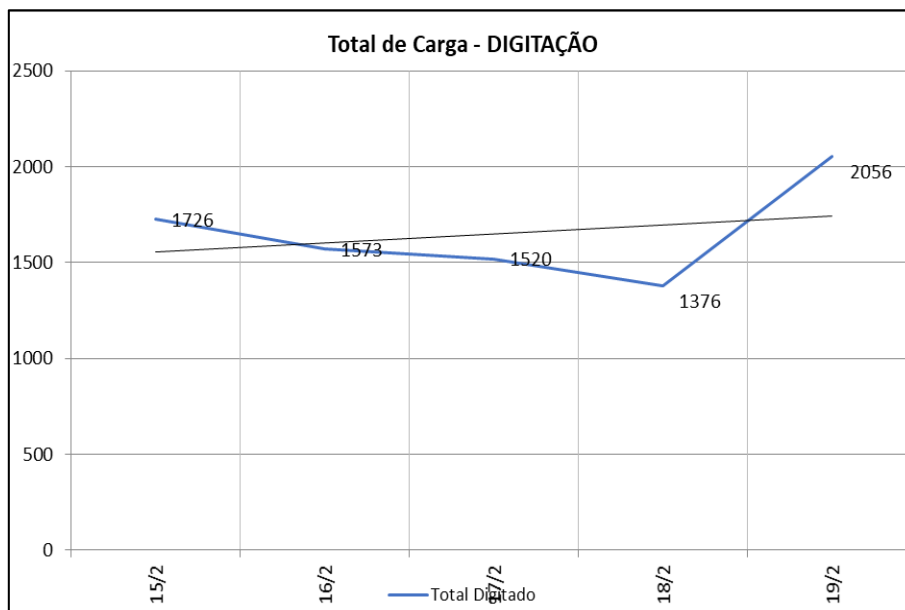
Figura 11. Indicador: Produção Máxima



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 12 apresenta o indicador: total objetos digitados. Trata-se de objetos cujos dados: registro e CEP são inserido manualmente no sistema por um operador de triagem; quanto menor a quantidade de objetos digitados, melhor.

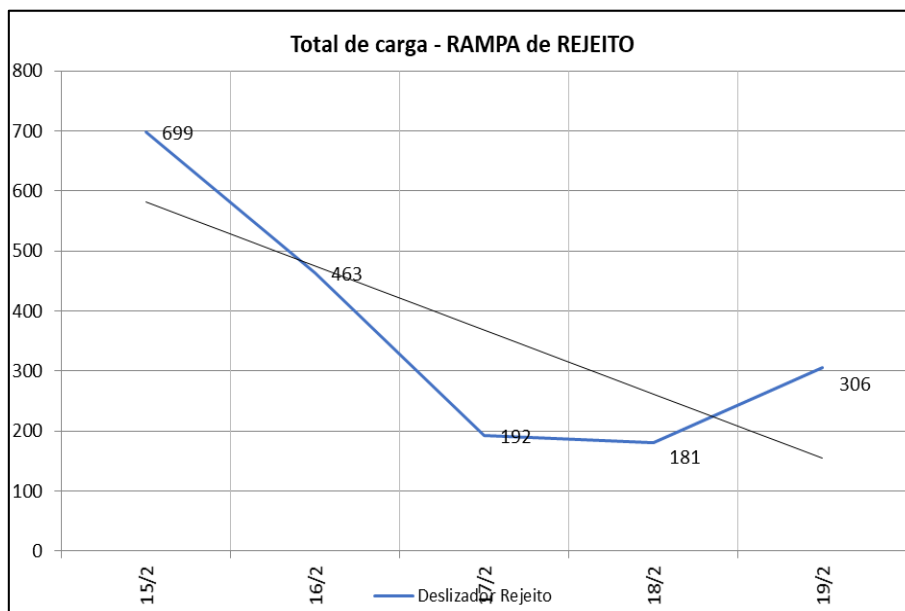
Figura 12. Indicador: Objetos Digitados.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 13 apresenta o indicador: objetos rejeitados. Caso não seja possível realizar a leitura eletrônica dos códigos de barras afixados no corpo dos pacotes, ou caso as saídas estejam bloqueadas no momento do basculamento, os objetos são destinados às saídas de rejeição. Quanto menor a quantidade de objetos rejeitados, melhor.

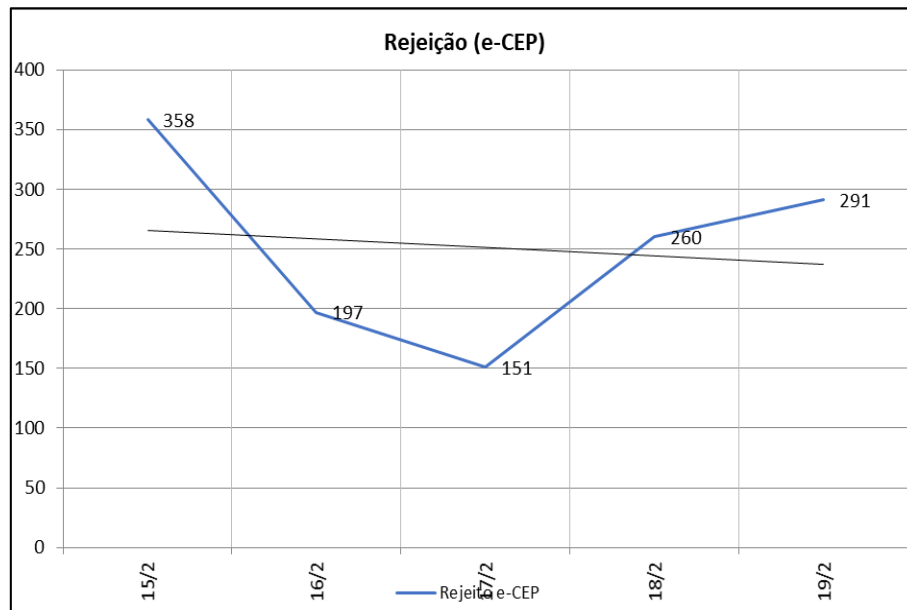
Figura 13. Indicador: Objetos Rejeitados.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 14 apresenta o indicador: rejeição e-CEP. Esta falha é causada pela ausência da informação CEP atrelado ao código que identifica o registro de triagem. Quanto menor a quantidade rejeitada por e-CEP, melhor.

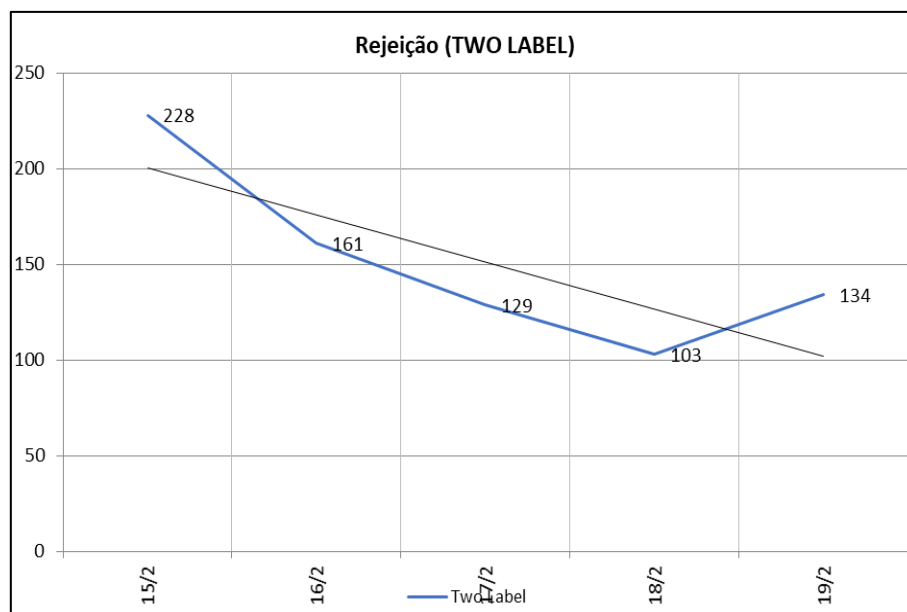
Figura 14. Indicador: Rejeição e-CEP.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 15 apresenta o indicador: rejeição *'two label'*, do Inglês: dois rótulos. Esta falha é causada por ocasião de duas ou mais encomendas serem inseridas na mesma bandeja do carrossel de transporte. Quanto menor a quantidade, melhor.

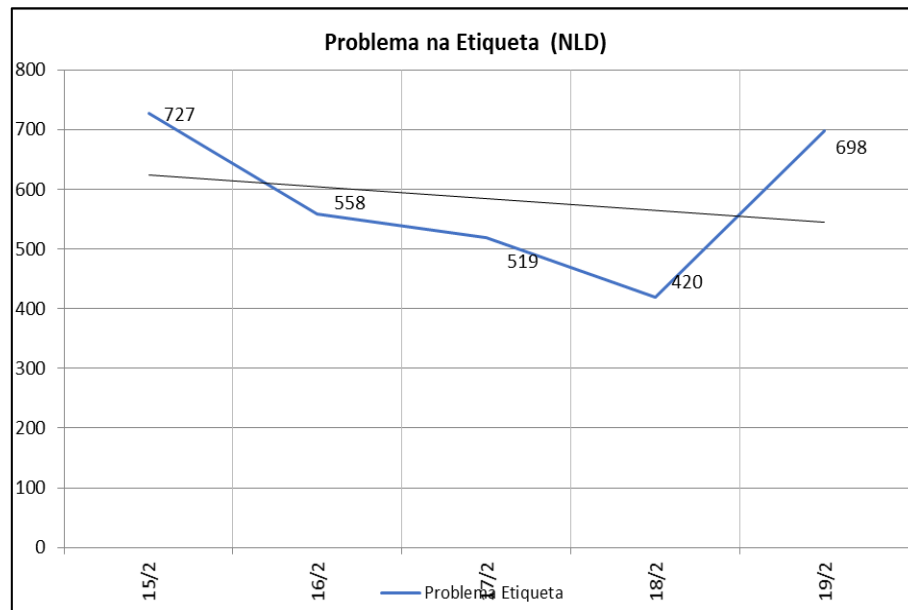
Figura 15. Indicador: Rejeição Two Label.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 16 apresenta o indicador: rejeição NLD (não lido). Caso as etiquetas estejam afixadas num local que impeçam a leitura do código de barras, caso estejam amassadas, danificadas ou fora do padrão, as encomendas são destinadas às saídas de rejeito. Quanto menor a quantidade, melhor.

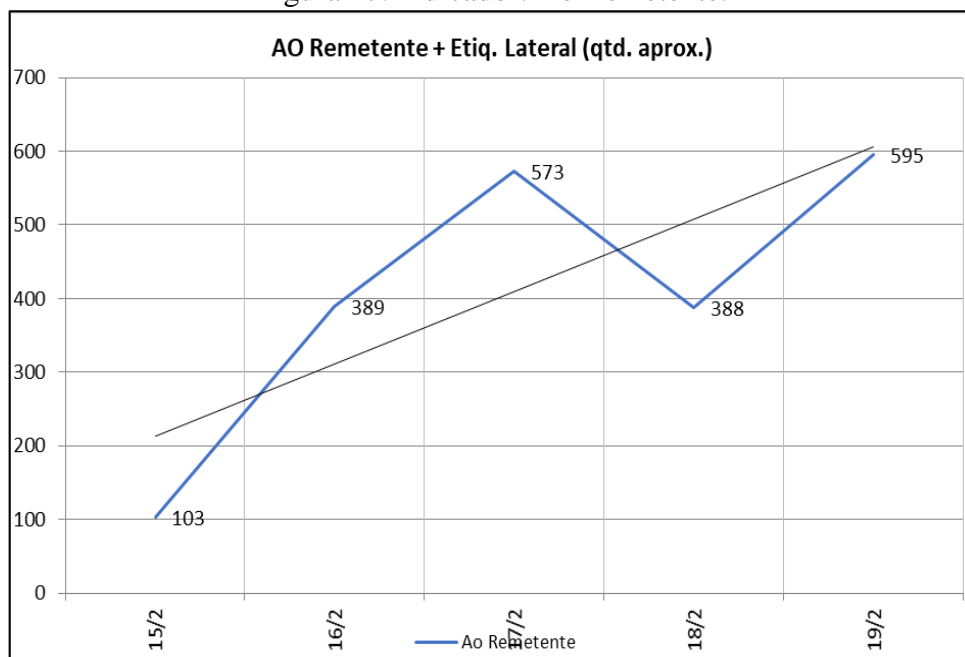
Figura 16. Indicador: Rejeição NLD.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

A Figura 17 apresenta o indicador: quantidade de objetos destinados ao remetente. Trata-se de encomendas não entregues aos respectivos destinatários por ocasião de ausência, recusa no recebimento, mudança de endereço ou qualquer outro motivo que tenha impossibilitado a entrega. Quanto menor a quantidade, melhor.

Figura 17. Indicador: Ao Remetente.



Fonte: Centro Logístico de Triagem de Encomendas, Fevereiro 2021.

1.2. Diretrizes para modelagem de software de Simulação Baseada em Agentes.

De acordo com Lagemann, Bosslau e Meier (2015), esta técnica suporta a modelagem de objetos e atores representados por agentes que se comunicam e interagem entre si, reagem a eventos programados em regras e estados de comportamentos, e se movimentam em uma área limitada, o ambiente.

Vários são os contextos e campos de conhecimento nos quais a modelagem e Simulação Baseada em Agentes pode ser aplicada (MACAL, 2016). Conforme Brailsford *et al.* (2019), as principais áreas de aplicação são: ciências da saúde, cadeias de suprimentos, transportes, logística, e manufatura, a exemplo do estudo de Wall (2016) que a utiliza nas ciências de administração de empresas, de Pandian e Abdul-kader (2017) que desenvolvem medidas de desempenho para a logística reversa de aparelhos celulares, e de Iannino *et al.*, (2020) que apresentam solução de controle de processos industriais.

A grande vantagem de simular processos de produção é obtida por meio da redução de riscos causados pela alteração deliberada da configuração de sistemas produtivos, uma vez que os experimentos são realizados num ambiente computacional controlado o que torna esta técnica uma poderosa ferramenta para exploração, transformação e aumento da competitividade dos negócios (PONTE *et al.*, 2017).

Dada a possibilidade de criação de cenários, de acordo com parâmetros de quantidade de recursos materiais e humanos alocados num dado processo, à medida que são conhecidas as variáveis matemáticas que compõem o sistema, é possível identificar as causas e efeitos de problemas que eventualmente afetem as operações de uma empresa, (RIBINO *et al.*, 2018).

Por sua vez, conforme Trigueiro *et al.* (2019), modelos matemáticos de Simulação de Eventos Discretos são projetados para otimizar determinada característica de um sistema estudado. Por meio da maximização ou minimização de expressões algébricas, fórmulas e sentenças de cálculos numéricos que simulam com precisão a causa e o efeito da ocorrência de determinados fenômenos observados no mundo real, é possível conceber cenários que respondam a perguntas do tipo: “e se? ”, dadas as restrições de recursos materiais e humanos impostas aos processos produtivos.

No entanto, tais modelos possuem limitações quando voltados para o estudo das interações que ocorrem entre os agentes que compõem um sistema produtivo e à adaptação de seus comportamentos às experiências por eles vivenciadas.

Conforme Oliveira, Lima e Montevechi (2016), a combinação dos métodos de simulação: estocástico e baseado em agentes tem se tornado uma tendência. Estudo de Brailsford *et al.* (2019) corrobora com esse teste ao constatar que é possível elaborar um modelo híbrido que combine as características da simulação discreta com a da baseada em agentes.

Para criar um software de simulação baseado em agentes, não basta apenas conhecer o funcionamento dos processos, mas também é necessário estabelecer uma estratégia para documentar todas as etapas da sua criação no sentido de auxiliar pesquisadores a replicar e validar os resultados gerados nos experimentos.

Esta pesquisa identifica limitações de aplicações de modelos de Simulação de Eventos Discretos que se baseiam estritamente em dados probabilísticos ao serem empregados no estudo do comportamento dos elementos de um sistema produtivo dado que esta abordagem não interpreta o relacionamento das interações entre os agentes de um ambiente operacional.

A escolha pela modelagem e Simulação Baseada em Agentes, em detrimento da Simulação de Eventos Discretos, ocorreu em razão da curva acelerada de aprendizagem do simulador Netlogo, (DE SOUZA 2019). Além disso, por dispor de uma vasta coleção de modelos programados por adeptos desta plataforma, a construção do modelo de sistema produtivo de triagem automatizada de encomendas foi facilitada a partir do modelo pré-existente, (WILENSKY 1997).

O fator decisivo para a escolha da Simulação Baseada em Agentes na execução dos experimentos propostos nesta pesquisa, é que esta abordagem permite a modelagem simplificada de sistemas produtivos com abrangência e detalhamento suficientes tal que requeiram do usuário o mínimo entendimento possível a respeito do processo de produção, (THIELE, 2014).

1.2.1. Etapas de criação de software de simulação baseado em agentes.

No sentido de estabelecer um modelo para a criação de software de simulação baseado em agentes, a pesquisa de Grimm *et al.* (2005) institui a técnica: “*Pattern Oriented Modelling*” (POM) – em inglês: Modelagem Orientada a Padrões – para testar e analisar projetos de software por meio da observação de padrões comportamentais em subsistemas que, por serem organizados de forma hierárquica, refletem o funcionamento de todo o ambiente. Na sequência, Grimm *et al.* (2006) complementam seus estudos ao conceber o protocolo: “*Overview, Design Concepts, Details*” (ODD) – em inglês: Visão Global, Conceitos de Projeto, e Detalhes, e Grimm *et al.* (2010, 2014, 2020) ampliam o entendimento do assunto.

Grimm e Schmolke (2011) desenvolveram protocolo denominado “*Transparent and Comprehensive Ecological Modelling* – TRACE (Modelagem Ecológica Transparente e Abrangente) – que torna o processo de criação de software de simulação baseado em agentes mais eficiente por meio do chamado “ciclo de modelagem”.

Cada um destes estudos discorre sobre os elementos facilitadores para a replicação de experimentos de simulação, sendo seus principais objetivos:

- Padronizar o processo de descrição conceitual de modelos;
- Tornar a descrição de modelos de simulação o mais completo e preciso possível;
- Descrever e detalhar o panorama geral de processos produtivos;
- Encorajar os pesquisadores a definir requisitos do modelo computacional de simulação.

1.2.1.1. Definição de propósitos e padrões.

No entendimento de Grimm *et al.* (2020), a primeira etapa da criação de modelos de Simulação Baseada em Agentes inicia-se pela clara definição do seu propósito e das principais hipóteses causadoras de determinados fenômenos observados em sistemas produtivos, e para facilitar a compreensão por parte dos leitores, recomenda empregar verbos no modo infinitivo na frase que define o problema de pesquisa relacionando-os com padrões de causas e efeitos eventualmente observados nas interações entre os agentes do modelo.

Desta forma, os verbos: prever, explicar, apresentar, descrever, desenvolver, expor, investigar, estudar, ilustrar, comparar, e compreender um fenômeno em função de determinadas variáveis podem ser usados nas definições de problemas de pesquisa, a exemplo do estudo de Sha e Srinivasan (2016) cujo objetivo é apresentar um modelo detalhado de simulação de gestão de frotas em função de decisões autônomas tomadas pelos agentes que compõem a cadeia de suprimentos, e de Fikar (2018) que desenvolve um sistema de apoio a decisão para investigar operações logísticas em razão da minimização das distâncias de entregas de produtos adquiridos pela internet e do tempo de validade no estoque de mercadorias em um supermercado.

1.2.1.2. Definição de entidades, variáveis de estado, e escalas de tempo.

Huang e Song (2018), em seu estudo sobre gestão de estoques em função de transações em leilões de produtos agrícolas, utilizam tabelas para relacionar os tipos de agentes:

compradores e vendedores, que variam em razão dos parâmetros: preço, quantidade de compra e venda.

De acordo com Schwabish (2020), tabelas são formas eficazes de proporcionar a representação exata de valores de dados e estimativas, o que as tornam a melhor alternativa para descrever entidades em um modelo de simulação ao relacionar parâmetros, símbolos, nomes, e valores dos agentes. Preferencialmente, deve constar das tabelas a fundamentação teórica de fórmulas e algoritmos matemáticos eventualmente empregados para simular a ação e a reação da interação entre os agentes e o ambiente no sentido de afastar o empirismo e o viés do pesquisador.

Conforme Cardoso e Ferrando (2021), um agente pode ser caracterizado como uma entidade computadorizada que toma suas próprias iniciativas e decisões de forma inteligente e autônoma ao interagir com os demais e com o ambiente. Uma vez identificadas as entidades, seus atributos devem ser descritos tal que fique claro a forma como são atualizados à medida que a simulação evolui no tempo, pois estes distinguem uma entidade da outra que, por sua vez, possuem seus próprios comportamentos e valores, tais como: peso, volume, largura, altura, comprimento, localização, e distância percorrida, por exemplo.

1.2.1.3. Dimensionamento do tempo e espaço.

Há modelos que representam a passagem do tempo na forma de um passo de cada vez, um após o outro, a exemplo de Reddy *et al.* (2017) que em seu trabalho sobre melhorias de processos de compras na cadeia de suprimentos de produtos alimentícios definem a escala de um dia para cada passo; outros simulam o avanço de tempo de forma contínua, assim como Evers *et al.* (2014) em seus estudos a respeito do comportamento social de primatas em razão dos sentimentos de ansiedade e de satisfação nas interações entre os membros do bando.

Portanto, devem ser definidas as escalas de tempo utilizadas, ou seja, quantos passos temporais executados no ambiente de simulação correspondem proporcionalmente ao tempo transcorrido na realidade do ambiente estudado, e a decisão por esta ou por aquela estratégia deve ser adotada conforme as características de cada modelo, além disso, se as condições de espaço e tempo dentro do ambiente variarem, recomenda-se programar um intervalo de valores mínimos e máximos para auxiliar na criação de cenários operacionais.

Além disso, para descrever o sequenciamento e ordenamento temporal das ações previstas em seus algoritmos, recomenda-se a representação visual de sistemas por meio de

diagramas esquemáticos de funcionamento (CALP; AKCAYOL, 2018), especialmente para modelos complexos. Seu emprego, no entanto, não afasta a necessidade de descrição textual detalhada de todo o processo, (POLHILL, 2015; VILLARRAGA *et al.*, 2017; LOVELLETTE; HEXMOOR, 2021).

1.2.1.4. Conceitualização do projeto de simulação.

O software de simulação computacional pode ser descrito sob perspectivas que o relacione a um dado campo de conhecimento. Tais perspectivas auxiliam a explicitar as motivações do pesquisador, e a fundamentar cientificamente suas decisões na procura pela solução do problema de pesquisa. O Quadro 3 resume tais conceitos.

Quadro 3: Diretrizes para descrição de modelos de simulação.

Elementos de modelos baseados em agentes.	
1	Princípios Básicos. Descrever conceitos gerais, hipóteses, linhas de pesquisa científicas novas ou existentes, abordagens teóricas e aplicações práticas em sistemas produtivos reais.
2	Natureza dos Comportamentos Observados. Relatar se comportamentos dos agentes foram deliberadamente gerados por modelos e algoritmos matemáticos ou de origem autônoma e espontânea, por meio do relacionamento entre eles e o ambiente, relacionando tais comportamentos com os parâmetros configurados na execução do artefato de simulação.
3	Adaptação ao Ambiente. Identificar as formas pelas quais os agentes adaptam seus comportamentos conforme variam as condições do ambiente de simulação, atrelando as decisões por eles tomadas às alternativas disponíveis e aos parâmetros configurados: excesso ou falta de algum insumo de produção, por exemplo.
4	Objetivos e Critérios de Sucesso. Descrever objetivos e critérios de sucesso programados para os agentes, bem como os algoritmos utilizados para calcular suas reações.
5	Experiências de Aprendizado. Identificar quais adaptações comportamentais foram deliberadamente adotadas pelos agentes diante das experiências de simulação e as razões pelas quais sofreram tais alterações.

Quadro 3: Diretrizes para descrição de modelos de simulação, (continuação).

Elementos de modelos baseados em agentes.	
6	Previsões. Descrever como os agentes preveem as consequências de suas ações ao tomarem decisões dentro do ambiente de simulação.
7	Nível de Sensibilidade. Identificar a quantidade de variáveis programadas para cada agente e sua forma de atualização, dado que o nível de sensibilidade influencia diretamente o resultado.
8	Formas de Interação. Descrever como e quais agentes interagem com o ambiente, seja de forma direta (quando o agente afeta outro agente), ou mediada (quando o agente é afetado por outro agente).
9	Abordagem Estocástica. Descrever como e quais eventos complexos que ocorrem no mundo real foram simplificados e sintetizados em variáveis aleatórias de tempo e espaço, especialmente quando aplicados à definição de parâmetros iniciais do experimento de simulação e em seus submodelos, visto que tal simplificação afeta sua confiabilidade e precisão.
10	Agregações. Descrever o comportamento da coletividade dos agentes, tal como nas redes de relacionamentos entre funcionários de uma empresa; estas, por sua vez, podem ser classificadas como um tipo de entidade com seus próprios atributos.
11	Resultados das Observações. Descrever como o modelo de simulação responde ao problema de pesquisa definido logo no início do projeto por meio de análises estatísticas de tendência central, variabilidade, e de distribuição que fundamentam os comportamentos observados na execução dos experimentos; comparar os resultados da simulação com os dados obtidos do mundo real, identificando o nível de incerteza e confiabilidade.

Fonte: adaptado de Grimm *et al.* (2020).

1.2.1.5. Parâmetros de simulação.

Para auxiliar os pesquisadores a reproduzir experimentos de simulação, faz-se necessário descrever os parâmetros e as entidades a serem criadas logo no início do processo de execução do software. Além disso, é importante informar se valores permanecem estáticos a cada vez que o algoritmo é executado, ou se é possível alterá-los para criar diferentes cenários operacionais que permitam identificar a relação de causa e efeito de determinado fenômeno. Mittal e Krejci (2019) definem dois cenários em seu modelo híbrido de simulação para aprimorar a gestão de estoques da cadeia de suprimentos de distribuição de alimentos ao variar os parâmetros: incentivos ao produtor, e período de alocação de mão-de-obra no sistema produtivo.

Caso o modelo utilize fontes de dados externas, devem ser descritas a origem, o motivo e a fundamentação teórico científica pelos quais tais dados foram utilizados no sentido de afastar o empirismo e o viés do pesquisador. Este aspecto do projeto representa a relação de causa e efeito exercida pela variação das condições do ambiente que afetem a execução dos experimentos. É necessário esclarecer de onde os dados externos são extraídos, as incertezas, os vieses e as limitações, (LAATABI *et al.*, 2018); caso o modelo não utilize dados externos, este fato também deve ser relatado.

1.3. Documentação do modelo de simulação.

Para que seja estabelecido um nível adequado de detalhamento e de simplificação do processo produtivo, esta pesquisa sugere subdividir o desenvolvimento do software em submodelos no sentido de reduzir a complexidade da sua representação visual bem como do trabalho de elaboração de linhas de códigos em linguagem de programação específica, (KRAVARI; BASSILIADES, 2015; ABAR *et al.*, 2017; KAMDAR; PALIWAL; KUMAR, 2018), especialmente quando empreguem grande quantidade de recursos materiais e humanos.

Na prática, cada submodelo existe de forma independente tal que contemple seu próprio projeto e, ao ser integrado com os demais, compõe o todo do software de simulação.

Para documentar o processo de criação de software de Simulação Baseado em Agentes, os resultados do levantamento bibliográfico apontam para a necessidade de se adotar um modelo padronizado segmentado em três etapas, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Etapas de criação de software de Simulação Baseado em Agentes.

1 Desenvolvimento do Modelo	
1.1	Formulação do Problema de Pesquisa:
1.2	Projeto do Software:
1.3	Descrição do Modelo:
1.4	Parametrização:
1.5	Calibração:
2 Testagem e Análise do Modelo	
2.1	Verificação:
2.2	Análise de Sensibilidade:
2.3	Validação:
3 Aplicações do Modelo	
3.1	Resultados:
3.2	Análise de Incertezas:
3.3	Recomendações:

Fonte: adaptado de Grimm *et al.* (2020).

Além disso, indica a necessidade de se adotar um modelo conceitual para descrever não somente o sistema produtivo, mas também todas as etapas de criação e desenvolvimento do software de simulação. Hall e Virrantaus (2016), identificam a técnica de modelagem e representação de sistemas “*Unified Modeling Language*” (UML) como a mais adequada para o desenvolvimento de software de Simulação Baseada em Agentes e, por sua vez, Zhang *et al.* (2018) apontam o diagrama de fluxos de dados como uma ferramenta adequada para modelar o processamento dos dados em engenharia de software.

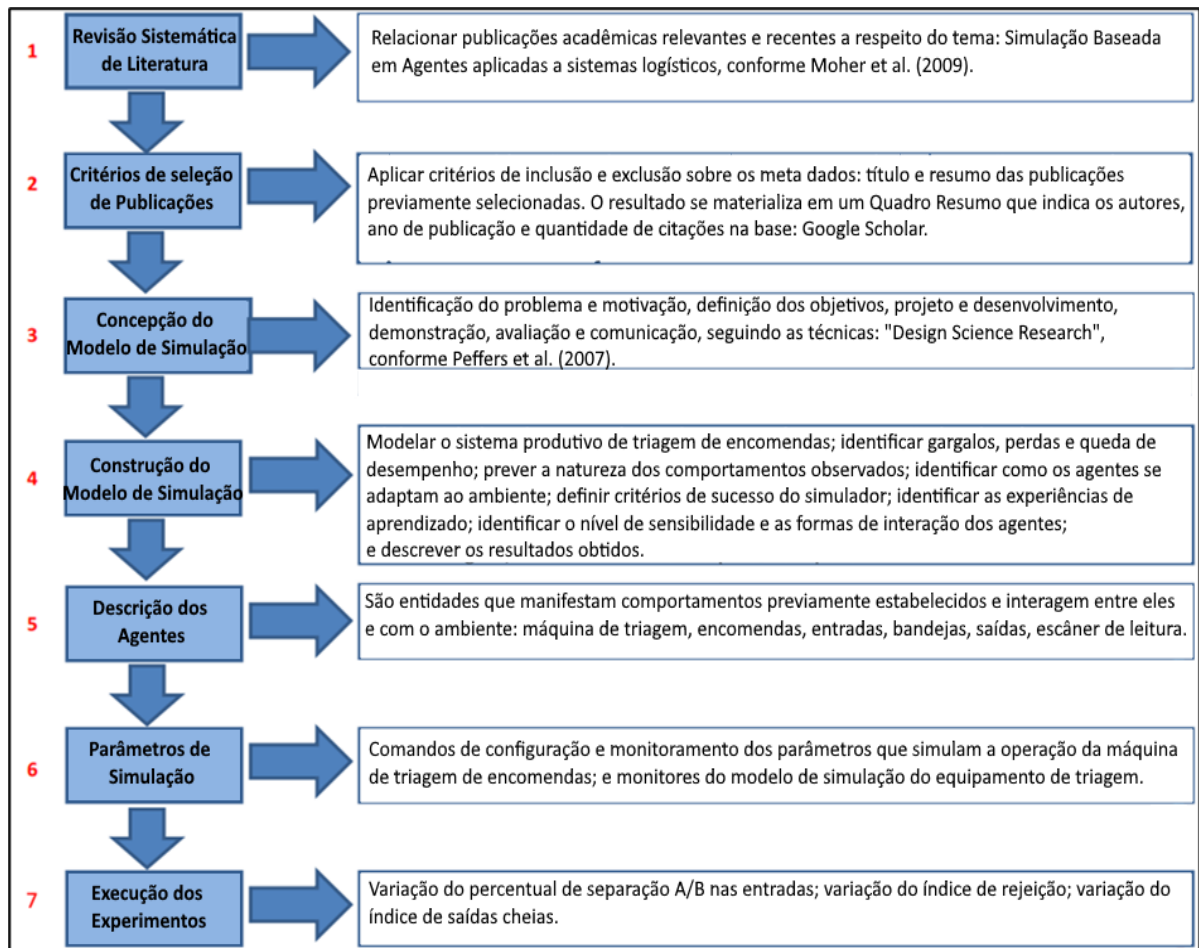
Ozkaya (2019) convalida a tese de que a linguagem UML é o padrão essencial para o desenvolvimento de sistemas computacionais ao analisar diversas ferramentas de modelagem e, conforme Bozyiğit, Aktaş e Kilinç (2021), esta linguagem é um padrão unificado de representação usada para desenvolver e descrever a estrutura e o comportamento de software orientados a objetos, e identificam o diagrama de classe como o mais usado pelos projetistas e desenvolvedores, e destaca ainda as técnicas de modelagem: “*Entity Relationship Models*” (ERM) e “*Business Model*” (BM).

Por fim, o diagrama de espinha de peixe, (COCCIA, 2020), como uma ferramenta adequada para representar as causas e efeitos de um determinado evento observado no processo de produção.

2. METODOLOGIA

A Figura 18 apresenta o fluxograma de replicação deste trabalho científico que tem início na elaboração do pré-projeto de pesquisa e fim na conclusão dos achados dos experimentos.

Figura 18. Caminho para replicação da pesquisa.



Fonte: o autor.

2.1. Revisão de Literatura

Por meio da aplicação das técnicas prescrita no protocolo PRISMA, (MOHER *et al.*, 2009), que consiste em uma lista de itens de verificação descritos no Quadro 5, que orienta pesquisadores a reportar de forma precisa e transparente os achados de uma revisão sistemática de literatura numa dada área de conhecimento, são colecionadas evidências precisas e confiáveis que fundamentam esta pesquisa científica.

Quadro 5: Itens de verificação do protocolo PRISMA.

TÍTULO	Item de Verificação	Diretriz
1	Título	Identificar a publicação como uma revisão sistemática de literatura, meta análise, ou ambos.
RESUMO		
2	Resumo Estruturado	Verificar a qualidade do resumo do trabalho, itens: <ul style="list-style-type: none"> - Referencial teórico; - Objetivos; - Fonte de dados; - Critérios de elegibilidade; - Participantes e intervenções; - Avaliação do estudo e síntese dos métodos; - Resultados; - Limitações; - Conclusões e implicações dos achados principais; - Número de registro da revisão sistemática.
INTRODUÇÃO		
3	Justificativa	Descrever a justificativa da revisão no contexto da pesquisa.
4	Objetivos	Apresentar afirmação explícita sobre as questões abordadas com referência a participantes, intervenções, comparações, resultados e delineamento dos estudos (PICOS).
MÉTODOS		
5	Protocolo e Registro	Indicar se existe um protocolo de revisão, endereço eletrônico para acesso e, se disponível, fornece informações sobre o registro da revisão, incluindo seu número.
6	Critérios de Elegibilidade	Especificar critérios de elegibilidade: extensão do seguimento, características dos relatos, anos considerados, idioma, a situação da publicação.
7	Fontes de Informação	Descrever todas as fontes de informações: base de dados com datas de cobertura, contato com autores para identificação de estudos adicionais e data da última busca.
8	Busca	Apresentar estratégia completa de busca de publicações nas bases de dados, incluindo os limites utilizados, para auxiliar a replicação do trabalho de pesquisa.
9	Seleção de Estudos	Descrever processo de seleção dos estudos rastreados e critérios de elegibilidade incluídos na revisão sistemática, e, se aplicável, incluídos na meta-análise.
10	Coleta de Dados	Descrever o processo de extração, limpeza, confirmação e análise de dados.
11	Lista dos Dados	Listar e definir todas as variáveis obtidas dos dados, fontes de financiamento e quaisquer suposições ou simplificações realizadas.
12	Risco de Viés em cada Estudo	Descrever os métodos usados para avaliar o risco de viés em cada estudo incluindo a especificação se foi feito no nível dos estudos ou dos resultados, e como esta informação foi usada na análise de dados.
13	Medidas de Sumarização	Definir as principais medidas de sumarização dos resultados, risco relativo, diferença média.

Fonte: Moher *et al.* (2009).

Quadro 5: Itens de verificação do protocolo PRISMA, (continuação).

TÍTULO	Item de Verificação	Diretriz
14	Síntese dos Resultados	Descrever os métodos de análise dos dados e combinação de resultados dos estudos, se realizados, incluindo medidas de consistência para cada meta-análise.
15	Risco de Viés entre Estudos	Especificar qualquer avaliação do risco de viés que possa influenciar a evidência cumulativa: viés de publicação, relato seletivo nos estudos; descrever métodos de análise adicional, análise de sensibilidade ou análise de subgrupos, meta regressão, se realizados, indicando quais foram pré-especificados.
16	Análises Adicionais	Descrever métodos de análise adicional: análise de sensibilidade ou análise de subgrupos, meta regressão, se realizados, indicando quais foram pré-especificados.
RESULTADOS		
17	Seleção de Estudos	Apresentar números dos estudos rastreados, avaliados para elegibilidade e incluídos na revisão, razões para exclusão em cada estágio, preferencialmente por meio de gráfico de fluxo.
18	Características dos Estudos	Para cada estudo, apresentar características para extração dos dados: tamanho do estudo, período de acompanhamento, e citações.
19	Risco de Viés em cada Estudo	Para todos os desfechos considerados, apresentar: - Sumário simples de dados para cada grupo de intervenção e; - Efeitos estimados e intervalos de confiança, preferencialmente por meio de gráficos.
20	Resultados de Estudos Individuais	Para todos os desfechos considerados, apresentar: - Sumário simples de dados para cada grupo de intervenção; e - Efeitos estimados e intervalos de confiança, preferencialmente por meio de gráficos.
DISCUSSÃO		
21	Síntese dos Resultados	Apresentar resultados para cada meta-análise feita, incluindo intervalos de confiança e medidas de consistência.
22	Risco de Viés entre Estudos	Apresentar resultados para cada meta-análise feita, incluindo intervalos de confiança e medidas de consistência.
23	Análises Adicionais	Apresentar resultados de análises adicionais, se realizadas: análise de sensibilidade ou subgrupos, meta regressão.

Fonte: Moher *et al.* (2009).

Quadro 5: Itens de verificação do protocolo PRISMA, (continuação).

TÍTULO	Item de Verificação	Diretriz
24	Sumário de Evidências	Sumarizar os resultados principais, incluindo a força de evidência para cada resultado; considere sua relevância para grupos-chave.
25	Limitações	Discutir limitações no nível dos estudos e risco de viés.
26	Conclusões	Apresentar a interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências e implicações para futuras pesquisas.
FINANCIAMENTO		
27	Financiamento	Descrever fontes de financiamento para a revisão sistemática e outros suportes tal como o papel dos financiadores na revisão sistemática.

Fonte: Moher *et al.* (2009).

Por meio do software Publish or Perish, configurado para pesquisar os termos em inglês: “*simulation*”, “*agent*”, e “*logistics*” no campo de palavras-chave, foram colecionados registros das bases de dados: Scopus e Microsoft Academic.

Em seguida, tais dados são salvos no formato (“*End Note*”) para serem posteriormente carregados nas bibliotecas do Software “Zotero”.

A partir daí, são exportados no formato (“*EndNote XML*”) pois este permite que os metadados sejam carregados em banco de dados relacional (“*MS-Access*”) para remoção de informações duplicadas e triagem de registros, conforme critérios de inclusão e exclusão.

Uma vez configurados nas consultas os critérios de inclusão e exclusão, foram avaliadas a qualidade e a pertinência temática das publicações e os dados selecionados foram transferidos para planilha eletrônica para elaboração da análise quantitativa.

Quadro 6. Materiais necessários para elaboração da análise bibliométrica.

Software	Aplicação
1 - Puplicsh or Perish	Extração de meta-dados das plataformas: Google Scholar, Microsoft Academic, e Scopus.
2 – Zotero e Mendeley	Administrar Referências Bibliográficas.
3 – Microsoft Access	Banco de dados relacional usado para aplicar critérios de seleção e exclusão de publicações.
4 – Microsoft Excel	Elaboração de planilhas eletrônicas com os dados selecionados, gráficos e estatísticas da análise bibliométrica.
5- <u>www.wordclouds.com</u>	Criação de nuvem de palavras.

Fonte: o autor.

2.2. Critérios de seleção das publicações.

O critério de seleção está focado no mapeamento da literatura existente a respeito do tema: Simulação Baseada em Agentes, nos campos de conhecimento: logística, e gestão de operações; restrito às atividades: gestão de estoque, armazenagem, logística, transporte, roteirização, fretes e cadeia de suprimentos.

O período considerado abrange trabalhos publicados de 2015 até 2020, e todos os registros colecionados fora desta janela de tempo foram descartados. Não há restrições quanto às regiões ou às instituições envolvidas no processo de elaboração e publicação dos estudos, no entanto, somente trabalhos escritos em língua inglesa foram analisados. O Quadro 7 apresenta os critérios de inclusão para selecionar publicações pertinentes ao objeto de pesquisa.

Quadro 7: Palavras-chave de critérios de inclusão de registros.

Campo de Conhecimento (Publicações Incluídas)	Palavras-Chave consideradas nos campos: “Abstract” e “Title”
1 - Gestão de Estoques e Armazenagem	<i>Material Handling, Packaging, Palletization, Warehouse, Inventory, Storage, Order Processing, Receiving, Inspection, Putaway, Postponement, Sortation, Shipping, Crossdocking, Docking, Replenish, Stock Control, Dispatch.</i>

Fonte: o autor.

Quadro 7: Palavras-chave de critérios de inclusão de registros, (continuação).

2 - Gestão de Fretes e Transportes	<i>Transport, Vehicle Scheduling, Vehicle Routing, Routing Problem, Distribution, Delivery, Fleet, Freight, Road, Last Mile.</i>
3 - Gestão da Cadeia de Suprimentos	<i>Supply Chain, Procurement, Demand Forecast, Sourcing, Facility Location, Logistics, Commodity, Echelon, Container, Supplier, Retail, Wholesale, Network Design, Customer Service Policy, Hub, Milk-Run, Inbound, Outbound, Loading, Waiting Time, Queue, Sequencing, Purchasing, Ordering, Expediting, Positioning, Process Organization, Transaction Cost, Resource, Optimization.</i>
4 - Gestão de Operações Logísticas	<i>Operation, Management, Productive Systems, Factory, Facility, Manufacturing, Management Systems, Organization.</i>

Fonte: o autor.

A partir da triagem de publicações selecionadas, conforme critérios de inclusão pesquisados nos campos: resumo e título, novas consultas são conduzidas no banco de dados no sentido de eliminar trabalhos cujas temáticas não interessam aos objetivos desta pesquisa.

Por se tratar de termos aplicáveis a diversas linhas de pesquisa, faz-se necessário desconsiderar registros atrelados aos seguintes campos de conhecimento: medicina, sociologia, psicologia, economia, finanças, biologia, sustentabilidade ambiental, tecnologias da informação, veículos e drones autônomos, inteligência artificial, aprendizagem de máquina, indústria 4.0, distribuição de água e de energia elétrica, mobilidade urbana, gestão de tráfego, operações de portos, aeroportos e de trens, desastres naturais e evacuação. O Quadro 8 lista os critérios de exclusão para análise de publicações.

Quadro 8. Palavras-chave de critérios de exclusão de registros.

Campo de Conhecimento (Publicações Excluídas)	Palavras-Chave desconsideradas no campo: “Title”
1 - Medicina	<i>Covid, Sars, Epidemia, Patient, Therapy, Inflammatory, Protein, Cell, Melanom, Immunology, Vaccine, Molecule, Inhibit.</i>
2 – Sociologia, Psicologia, Economia, Desastres, Finanças e Ciências da Natureza	<i>Social, Bio, Finance, Behavior, Disaster, Evacuation.</i>
3 – Internet, Aprendizado de Máquina, Inteligência Artificial, Distribuição de Água e Energia, Transportes Públicos, Mobilidade Urbana, Aeroportos, Portos e Trens.	<i>Energy, Electricity, Power, Water, Mircrogrid, Grid, Topology, Internet, Machine Learning, Artificial Intelligence, Urban Mobility, Autonomous Vehicle, Collision, Industry 4.0, Traffic Control, Pedestrian, Public Transport, Passenger Boarding.</i>

Fonte: o autor.

2.3. Concepção do modelo.

A metodologia “*Design Science Research*” é utilizada para a construção de modelo de simulação computacional baseado em agentes, proposto nesta pesquisa.

São seguidas as diretrizes apresentadas por Peffers (2007) que identificam seis etapas para criação de artefatos de software: identificação do problema e motivação, definição dos objetivos, projeto e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação. Para documentar seu processo de criação, são seguidas as três etapas básicas propostas por Grimm *et al.* (2020): desenvolvimento, testagem e análise, e aplicações.

A modelagem computacional baseada em agentes apresenta-se como uma alternativa para reduzir incertezas e vieses do pesquisador. Além disso, proporciona melhor entendimento e maior facilidade de visualização das etapas dos processos produtivos, em comparação com a

abordagem de simulação de eventos discretos que exige conhecimentos avançados de cálculo e de engenharia de computação, (JAXA-ROZEN; KWAKKEL, 2018).

A escolha por esta modalidade se justifica devido à facilidade de se compreender fenômenos e relacionamentos complexos que ocorrem entre a máquina, as encomendas e os sistemas de informação, (WILENSKY; RAND, 2015).

De acordo Meijer (2015) e Kriz (2017), o principal objetivo da modelagem de sistemas produtivos é aumentar o desempenho de todo o processo e evitar erros humanos na execução de suas atividades.

Sendo assim, o principal objetivo deste modelo é orientar ações para aumentar a capacidade produtiva do sistema produtivo de triagem automatizada de encomendas, já que é possível testar os efeitos de falhas operacionais, prever fluxos de movimentação interna de carga, e redefinir regras de alocação de recursos em um Centro Logístico de Triagem de Encomendas.

A modelagem e simulação computacional proporciona melhores condições para prever, analisar e aprimorar o comportamento de sistemas produtivos. Dada a simplificação da realidade proporcionada por modelos abstratos, é possível não apenas explicar as causas de determinados fenômenos, mas também prever cenários outrora não identificáveis, (ABAR *et al.*, 2017).









Outro fator decisivo considerado para a escolha desta abordagem, é que um sistema de simulação ideal deve requerer dos usuários o mínimo de esforço possível para aprendizado, possuir flexibilidade de criação de cenários e ser eficiente o bastante para ser executado em máquinas de baixa complexidade e capacidade computacional, (ABAR *et al.*, 2017).

Além disso, a simulação computacional de sistema de produção auxilia a reduzir riscos ocasionados pela modificação de processos no chão de fábrica à medida que auxilia os profissionais a aumentar suas habilidades críticas de administração do negócio, tal como dimensionar e alocar adequadamente recursos materiais e humanos, (ZHANG *et al.*, 2018).

Desta forma, apesar de implicar custos adicionais de desenvolvimento e manutenção de software, a modelagem e simulação computacional permite testar e avaliar alternativas de soluções em um ambiente virtual controlado sem que o tomador de decisão incorra riscos desnecessários caso tais medidas fossem adotadas no mundo real, (GARCÍA-GARCÍA *et al.*, 2020).

O Quadro 9 demonstra as diretrizes seguidas para a criação do modelo proposto.

Quadro 9: Diretrizes para criação de modelo de Simulação Baseada em Agentes.

Diretrizes.	
1	<p>Princípios Básicos.</p> <p>Para simular as operações com equipamento de triagem de encomendas, é necessário modelar o processo de produção no sentido de identificar as principais causas de gargalos, perdas e queda de desempenho produtivo. A partir de estudo conduzido na unidade logística de triagem de encomendas, constatam-se as principais hipóteses observadas que influenciam diretamente a produtividade do equipamento: separação nas entradas A/B, rejeição de objetos pelo escâner de leitura de códigos de barras, e saídas bloqueadas.</p>
2	<p>Natureza dos Comportamentos Observados.</p> <p>O comportamento dos agentes foi deliberadamente previsto em algoritmos de programação descritos no Apêndice B; não há decisões autônomas oriundas do relacionamento e aprendizado entre os agentes e o ambiente; suas reações ocorrem em função tão somente dos parâmetros configuráveis.</p>
3	<p>Adaptação ao Ambiente.</p> <p>O principal agente deste modelo é a encomenda. Conforme ela é inserida em uma das entradas, assume uma das quatro colorações possíveis: saídas (A- , B- , C- , D- ). Após, caso haja bandejas vazias (azuis , , ), circulam no carrossel com a respectiva coloração até o destino; do contrário, aguardam até que encontrem uma bandeja vazia (azul) disponível. Antes, passam pela estação de escâner de leitura do código de barras: ; nesta etapa, o parâmetro de rejeição é aferido e um dos dois comportamentos é manifestado: sem rejeito (mantem a coloração) e seguem para a respectiva saída, com rejeito (altera a coloração) e seguem para uma das saídas previstas. Caso as saídas estejam bloqueadas, circulam novamente no carrossel para nova tentativa de basculamento.</p>

Quadro 9: Diretrizes para criação de modelo de Simulação Baseada em Agentes (continuação).

Diretrizes.	
4	<p>Objetivos e Critérios de Sucesso.</p> <p>O sucesso do processo de simulação é obtido, após transcorrido todo o tempo configurado, quando todas as encomendas são destinadas corretamente às respectivas saídas, todos os gráficos e monitores de variáveis são atualizados. Espera-se máxima produtividade na configuração: Separação A/B (100%), Rejeição e Saídas Cheias (0%).</p>
5	<p>Experiências de Aprendizado.</p> <p>A experiência de aprendizado é obtida basicamente em dois comportamentos: (aguardar) bandejas ou saídas vazias, ou (bascular) corretamente no local previsto. Nos processos, observa-se alteração na coloração dos agentes indicando mudança de seus estados. Não há previsão de decisão autônoma pelos agentes, mas tão somente conforme configurado nos parâmetros.</p>
6	<p>Previsões.</p> <p>Todas as mudanças de comportamento são manifestadas na alteração das respectivas colorações e são documentadas em gráficos e monitores visualmente disponíveis para o usuário. Não há previsão de adaptação a novos comportamentos dos agentes conforme evoluem as condições do ambiente.</p>
7	<p>Nível de Sensibilidade.</p> <p>Além da coloração que representa seu estado e comportamento, a encomenda possui uma variável chamada “checked” que indica se ela passou ou não pelo escâner de leitura do código de barras, isto evita dupla leitura. Também é possível configurar a quantidade de “ticks” do sistema, que estabelece a quantidade máxima de produção e permite a adaptação a mais de um tipo de equipamento de triagem, conforme especificação do fabricante.</p>

Quadro 9: Diretrizes para criação de modelo de Simulação Baseada em Agentes (continuação).

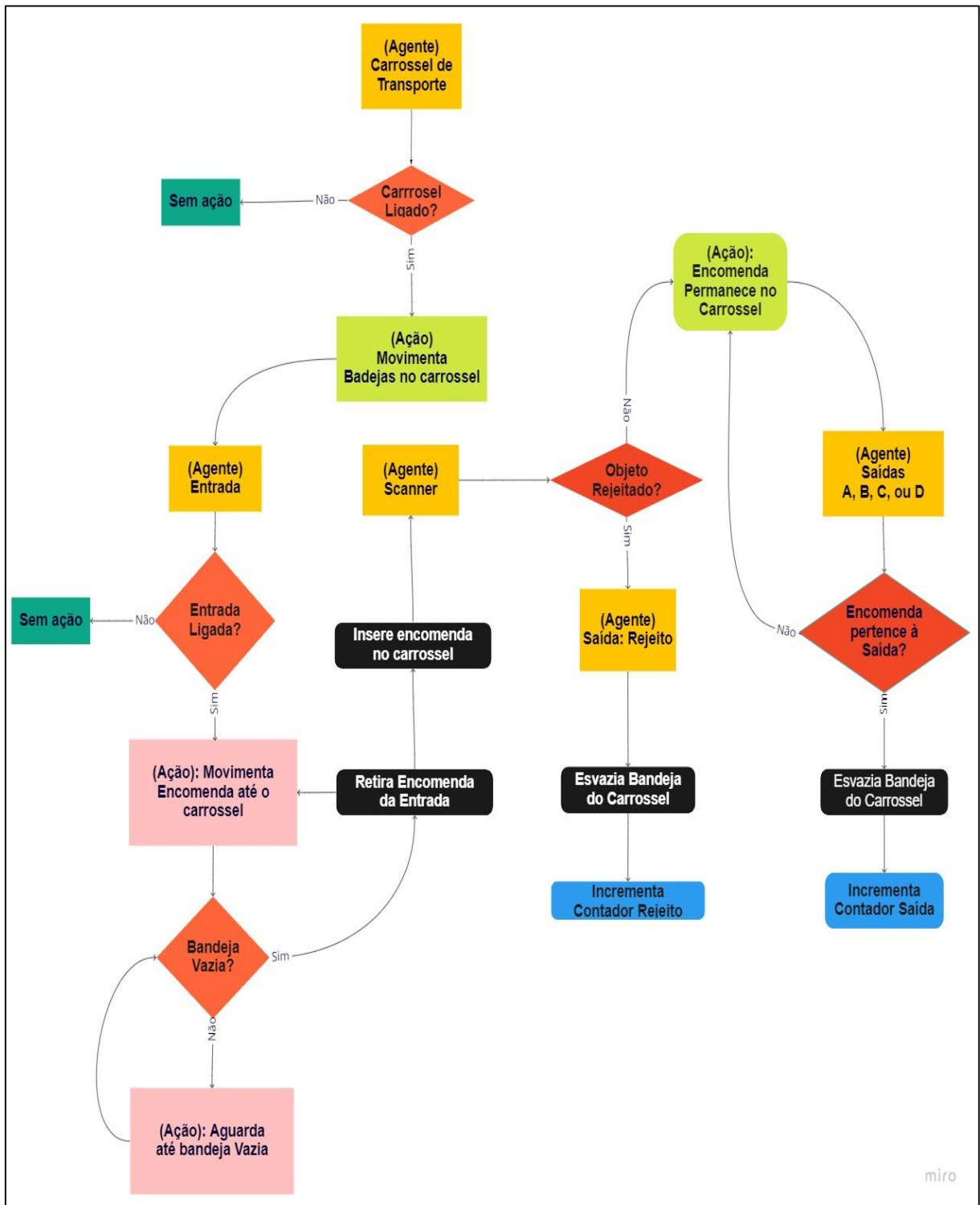
Diretrizes.	
8	<p>Formas de Interação.</p> <p>O principal agente de interação com as encomendas é o escâner de leitura do código de barras; ao passar por ele, seguem normalmente ao seu destino ou são rejeitadas. As saídas também interagem com as encomendas e são previstos dois comportamentos: (vazias) – a encomenda segue ao seu destino e o contador de quantidade é incrementado; (cheias) – a encomenda circula novamente pelo carrossel e o contador de saída cheia é incrementado.</p>
9	<p>Agregações.</p> <p>Não há previsão de alteração do comportamento coletivo dos agentes quando estes interagem entre si e com o ambiente.</p>
10	<p>Resultados das Observações.</p> <p>Os resultados apontam que os indicadores: Saídas Cheias, e Separação A/B são os principais responsáveis sobre o nível de produtividade da máquina de triagem.</p>

Fonte: o autor.

Na definição proposta por Schribber, Brunner e Smith (2014), a Figura 19 ilustra o fluxograma de operação do simulador de triagem de encomendas, conforme as diretrizes apresentadas no Quadro 9. Os recursos consistem: carrossel de transporte, esteiras de entrada de encomendas, scanner de leitura de código de barras, sensores de presença, e saídas. As entidades representam as decisões tomadas pelos algoritmos manifestadas nas perguntas: o carrossel está ligado? A entrada está ligada? A bandeja está vazia? O objeto deve ser rejeitado? A encomenda pertence à saída?

Por sua vez, os elementos de controle, discriminados no Quadro 11, alteram e monitoram os parâmetros de configuração do equipamento: ligado ou desligado, índice de separação A/B nas entradas, nível de rejeição dos scanners, e índice de saídas bloqueadas.

Figura 19. Fluxograma de operação do simulador.



Fonte: o autor.

2.4. Construção do modelo.

O Quadro 10 descreve cada uma das funções programadas no algoritmo Netlogo do simulador de triagem automatizada de encomendas, apresentadas no Apêndice - B.

Quadro 10. Função dos algoritmos de simulação.

Entidade	Recurso	Controle	Operação
Setup	Carrossel	Reinicia o simulador	Reinicia variáveis, contadores, e cria todos os agentes no ambiente de simulação.
Go	Carrossel	Liga o simulador	Executa todos os algoritmos de inicialização do simulador.
setup-road	Carrossel	Define as coordenadas x, y do carrossel no ambiente.	Desenha o caminho do carrossel no ambiente.
sepAB	Carrossel	Monitora a quantidade de objetos inseridos no lado correto de saída.	Conta a quantidade de encomendas inseridos no lado correto das saídas.
sample-car	Carrossel	Visualiza se o carrossel está se movimentando.	Cria agente de bandeja de amostra no carrossel.
setup-cars	Carrossel	Define o caminho do carrossel.	Cria agente de bandeja no carrossel
separate-cars	Carrossel	Define o sentido de rotação do carrossel.	Distribui os agentes de bandeja no carrossel.
setup-ju01; setup-ju02 setup-ju03; setup-ju04 setup-ju05; setup-ju06 setup-ju07; setup-ju08 setup-ju09; setup-ju10	Entrada	Define as coordenadas x,y de cada esteira de entrada.	Desenha as entradas no ambiente.
encomendas_ju01 encomendas_ju02 encomendas_ju03 encomendas_ju04 encomendas_ju05 encomendas_ju06 encomendas_ju07 encomendas_ju08 encomendas_ju09 encomendas_ju10	Entrada	Define as coordenadas x,y de cada encomenda na esteira de entrada.	Cria agente de encomenda nas entradas.
start_ju01; start_ju02 start_ju03; start_ju04 start_ju05; start_ju06 start_ju07; start_ju08 start_ju09; start_ju10	Entrada	Monitora a quantidade de encomendas inseridas na entrada; atribui lógica de definição de saída de destino à encomenda.	Atribui uma saída aleatória à cada encomenda.

Fonte: o autor.

Quadro 10. Função dos algoritmos de simulação, (continuação).

Entidade	Recurso	Controle	Operação
ifelse (Entrada_01?) ifelse (Entrada_02?) ifelse (Entrada_03?) ifelse (Entrada_04?) ifelse (Entrada_05?) ifelse (Entrada_06?) ifelse (Entrada_07?) ifelse (Entrada_08?) ifelse (Entrada_09?) ifelse (Entrada_10?)	Entrada	Liga, desliga esteiras de entrada.	Movimenta encomenda da esteira até o carrossel, se ligada; para a esteira, se desligada.
setup-scannA setup-scannB	Scanner	Define as coordenadas x,y do scanner no ambiente.	Desenha o scanner no ambiente.
sensorScannA sensorScannB	Scanner	Define as coordenadas x,y do agente do scanner.	Cria o agente do scanner no ambiente.
scannA scannB	Scanner	Define a lógica de funcionamento do agente de scanner.	Define aleatoriamente se a encomenda é rejeitada; previne dupla passagem pelo scanner.
setup-chuteA setup-chuteB	Saída	Define as coordenadas x,y da saída.	Desenha a saída no ambiente.
encomendas_chuteA encomendas_chuteB encomendas_chuteC encomendas_chuteD	Saída	Define as coordenadas x,y do agente da saída.	Cria o agente de saída.
drop_chuteA drop_chuteB drop_chuteC drop_chuteD	Saída	Define a lógica de funcionamento do agente de saída.	Retira a encomenda do carrossel, e incrementa contador da quantidade da saída.
setup-rejectA setup-rejectB	Saída	Define as coordenadas x,y da saída de rejeitos.	Desenha a saída de rejeito no ambiente.
encomendas_rejectA encomendas_rejectB	Saída	Define as coordenadas x,y do agente de saída de rejeitos.	Cria o agente de na saída de rejeitos.

Fonte: o autor.

Quadro 10. Função dos algoritmos de simulação, (continuação).

Entidade	Recurso	Controle	Operação
drop_rejectA drop_rejectB	Saída	Define a lógica de funcionamento do agente de saída.	Retira a encomenda do carrossel e incrementa contador.
breed [parcels parcel]	Encomenda	Variável global.	Define o tipo de agente do ambiente de simulação.
parcelChuteA parcelChuteB	Encomenda	Variável aleatória	Define o destino da encomenda para uma saída: A, B, C, ou D.
qtdA; qtdB qtdC; qtdD	Encomenda	Conta quantidade de objetos destinados às saídas: A, B, C, e D	Incrementa o contador da quantidade de objetos basculados nas saídas: A, B, C e D.
qtdRejA qtdRejB	Encomenda	Conta quantidade de objetos nas saídas de rejeito nos lados: A e B	Incrementa o contador da quantidade de objetos basculados nas saídas de rejeito.
qtdSaidaCheia	Encomenda	Conta a quantidade de objetos rejeitados por motivo de saída cheia.	Incrementa o contador da quantidade de objetos rejeitados por motivo de saída cheia.
qtdIU01; qtdIU02 qtdIU03; qtdIU04 qtdIU05; qtdIU06 qtdIU07; qtdIU08 qtdIU09; qtdIU10	Encomenda	Conta a quantidade de objetos inseridos em cada entrada.	Incrementa o contador da quantidade de objetos inseridos em cada entrada.
turtles-own	Encomenda	Controla a velocidade do carrossel; atualiza a informação da passagem da encomenda pelo scanner.	Define a velocidade de movimentação dos agentes no ambiente; identifica se a encomenda já passara pelo scanner.
dtInicio dtAgora tempoPlano	Tempo	Conta o tempo de plano de triagem	Calcula o tempo de início, fim e duração do plano de triagem.

Fonte: o autor.

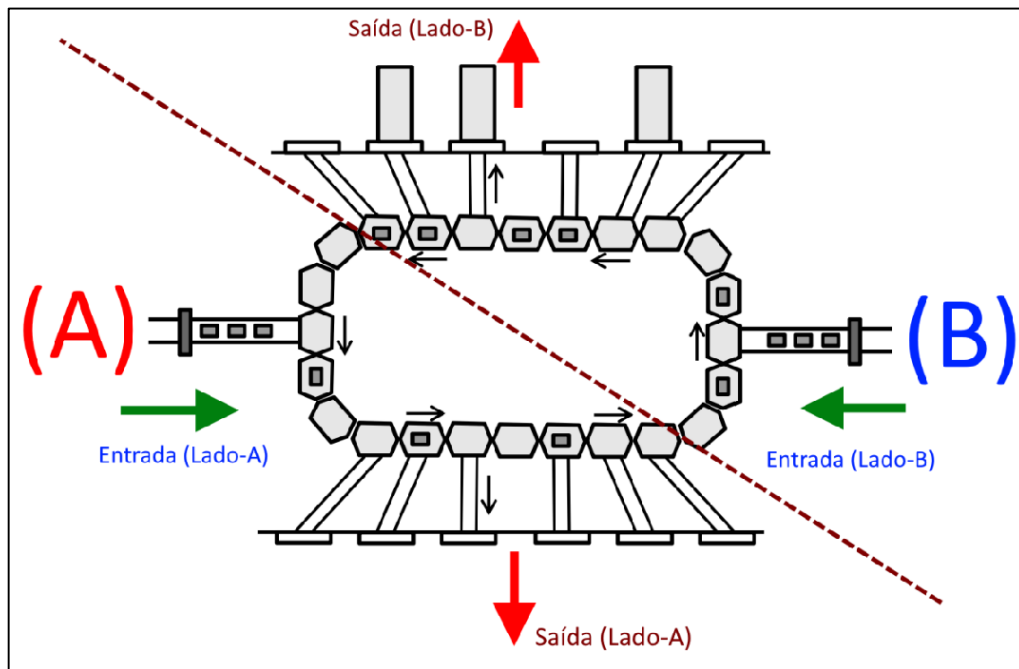
2.5. Modelagem dos agentes no simulador Netlogo.

Agentes são entidades que manifestam comportamentos previamente estabelecidos e interagem entre eles e com o ambiente.

2.5.1. Máquina de triagem.

Uma máquina de triagem do tipo “closed-loop”, em Inglês: ciclo fechado, é composta por três elementos básicos: estações de entrada, bandejas de transporte, e estações de saída, (BOYSEN *et al.*, 2019); conforme ilustrado na Figura 20.

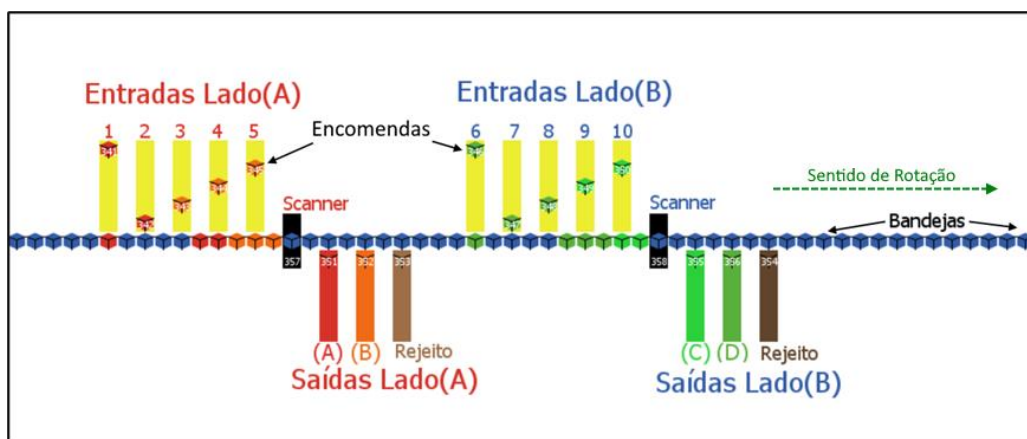
Figura 20. Modelo simplificado de equipamento de triagem de encomendas.



Fonte: adaptado de Fedke e Boysen (2017).

A Figura 21 apresenta o modelo equipamento programado no simulador Netlogo.

Figura 21. Máquina de Triagem de Encomenda do tipo “closed-loop”.



Fonte: o autor.

2.5.2. Encomendas

Trata-se do pacote inserido no equipamento que, caso haja bandeja disponível, é inserido no carrossel de transporte até o seu basculamento na saída; do contrário, aguarda até

que haja uma bandeja vazia o que implica recirculação indevida e afeta negativamente o desempenho do sistema produtivo.

A Figura 22 apresenta a modelagem das encomendas inseridas no equipamento automatizado de triagem; as diferentes colorações manifestam seu comportamento de destino.

Figura 22. Encomendas e seus estados de comportamento de destino.

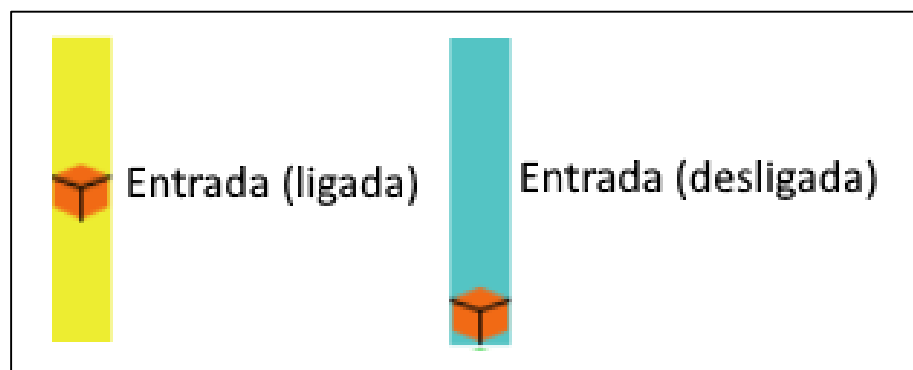


Fonte: o autor.

2.5.3. Entradas

Nas estações de entrada, as encomendas são inseridas em uma esteira que apresenta um de dois comportamentos manifestados na mudança das colorações: amarela (ligada), azul (desligada). Sua função é direcionar as encomendas ao carrossel para posterior validação pelo escâner. A Figura 23 apresenta as duas possibilidades de estado de operação das estações de entrada.

Figura 23. Estado de funcionamento das entradas do equipamento de triagem.



Fonte: o autor.

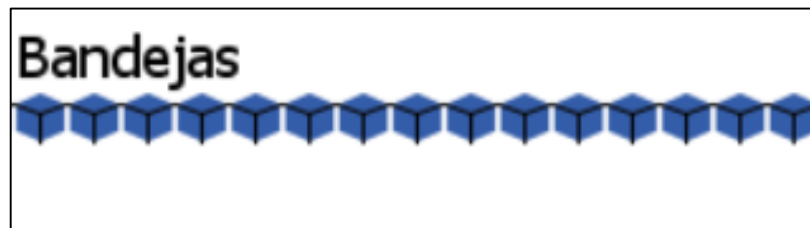
2.5.4. Bandejas

Parafusadas no carrossel transportador, são responsáveis pelo carregamento dos objetos das estações de entrada até as saídas. Neste trajeto, os pacotes sofrem escaneamento eletrônico

de leitura de código de barras para que a informação do destino e demais dados a eles relacionados sejam consultados e atualizados junto aos sistemas de informações.

A Figura 24 ilustra as bandejas vazias (azuis) do carrossel transportador do equipamento automatizado de triagem de encomendas.

Figura 24. Carrossel do equipamento automatizado de triagem.

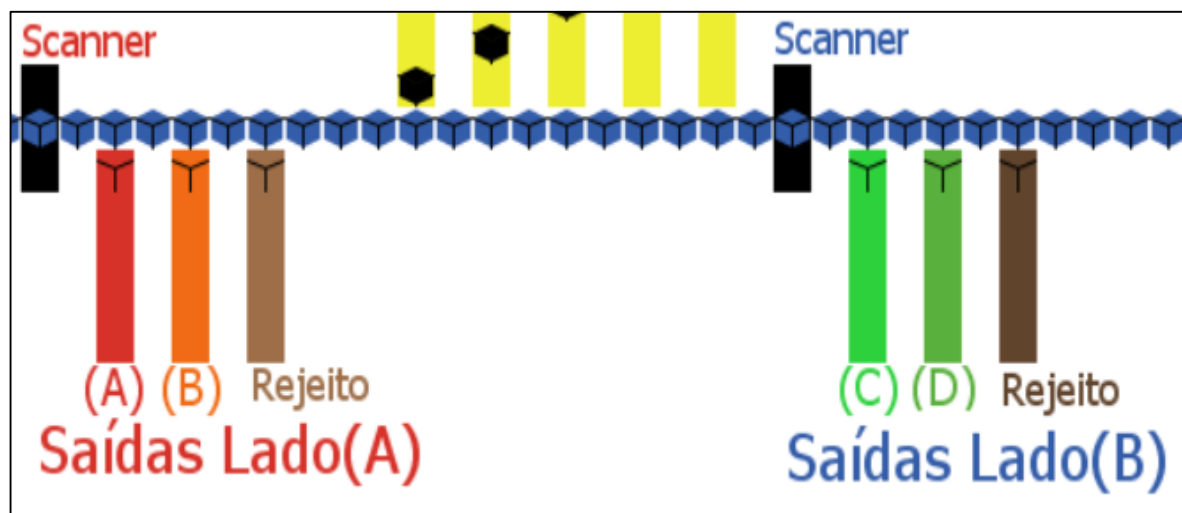


Fonte: o autor.

2.5.5. Saídas

Os objetos são direcionados às estações de saída para adequada containerização e correta destinação aos respectivos entrepostos onde posteriormente são carregados em caminhões ou vans de pequeno porte. A Figura 25 apresenta o modelo das saídas de um equipamento automatizado de triagem de encomendas programado no simulador Netlogo.

Figura 25. Saídas do equipamento automatizado de triagem.



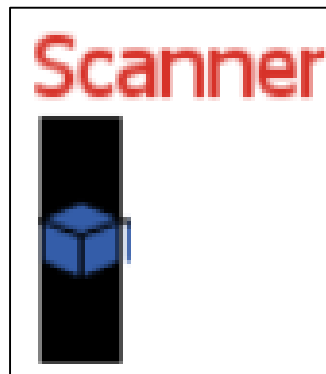
Fonte: o autor.

2.5.6. Escâner de leitura de código de barras.

Por fim, o escâner de leitura verifica se existe ou não uma encomenda sendo carregada pelo carrossel transportador. Seu comportamento é manifestado na alteração de uma variável global atrelada a cada bandeja chamada: “*checked*” e, caso haja erro de leitura do código de barras, promove alteração da coloração da encomenda transportada pelo carrossel destinando-a à saída de rejeição mais próxima.

Conforme algoritmos apresentados no Apêndice – B, as funções: “*setup-scannA*”, “*setup-scannB*” desenham os escâneres nas respectivas posições. As funções: “*sensorScannA*”, “*sensorScannB*” estabelecem a lógica de leitura do código de barras na qual a variável global “*checked*” é alterada para o valor: 1 (sem falhas) e a encomenda destinada a umas das saídas: A, B, C, D; ou 0 (falha) e a encomenda destinada a uma das respectivas saídas: Rejeito-A ou Rejeito-B. A Figura 26 apresenta o modelo do escâner de leitura de códigos de barras do simulador Netlogo.

Figura 26. Escâner de leitura de código de barras.







Fonte: o autor.

2.6. Parâmetros de simulação.

Para auxiliar os pesquisadores a reproduzir os experimentos propostos, faz-se necessário descrever os parâmetros correspondentes aos agentes e ao ambiente de simulação, bem como podem ser controlados e monitorados. À medida que são conhecidas as variáveis matemáticas que compõem o sistema produtivo, é possível identificar as causas e os efeitos dos problemas que eventualmente afetem os resultados do processo produtivo, (RIBINO *et al.*, 2018).




O Quadro 11 apresenta os elementos de controle do estado das entidades do simulador, responsáveis pela alteração dos parâmetros de incidências de falhas, velocidade, condição de ligado ou desligado, e o tempo da operação logística de triagem de encomendas.

Quadro 11. Elementos de controle do simulador.

Comando/Função.	
	Setup. Reinicializa o simulador. Antes de cada experimento, é necessário pressionar esta tecla para que todos os contadores e parâmetros do equipamento de triagem sejam restabelecidas às condições iniciais de operação.
	Go. Inicia ou paralisa o simulador. Funciona exatamente como o botão liga/desliga do equipamento automatizado de triagem de encomendas.
	“Ticks” por Hora. Relaciona o tempo transcorrido no simulador com o da vida real. Para calibrar corretamente, deve-se considerar as condições ideais: separação A/B (100%), rejeição (0%) e saídas cheias (0%). Quanto maior a quantidade de “ticks”, maior a capacidade da máquina de triagem.
	Tempo. Configura a quantidade de horas de uma operação de triagem.

Fonte: o autor.

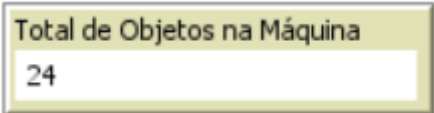
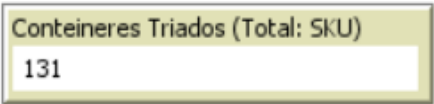
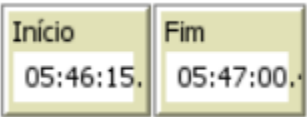
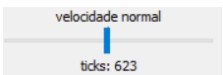
Quadro 11. Elementos de controle do simulador, (continuação).

Comando/Função.	
	<p>Volume (litros).</p> <p>Configura o volume cúbico médio das encomendas. Usado para calcular a área e a quantidade de contêineres movimentados. Quanto maior o volume, maior a quantidade de contêineres a serem transportados pelos veículos, e maior a área necessária para armazenagem.</p>
	<p>Rejeição.</p> <p>Configura o índice de objetos rejeitados pelo escâner de leitura do código de barras em cada lado do equipamento de triagem. Quanto maior o índice, menor a produção.</p>
	<p>Saída Cheia.</p> <p>Configura o índice de saídas bloqueadas. Quanto maior o índice, maior a quantidade de objetos circulando no carrossel e menor a produção.</p>
	<p>Entradas.</p> <p>Liga ou desliga cada uma das entradas do equipamento de triagem.</p>

Fonte: o autor.


O Quadro 12 apresenta os contadores do simulador da máquina de triagem de encomendas, responsáveis pelo monitoramento do tempo simulado da operação, o índice de separação de carga, índice de rejeição de objetos, nível de saídas bloqueadas, e o estado de funcionamento das entradas e do equipamento de triagem (ligado ou desligado)

Quadro 12. Contadores do simulador.

Monitor/Função.	
	<p>Total de objetos na máquina.</p> <p>Monitora a quantidade de encomendas carregadas pelo carrossel transportador. Em condições ideais, este número deve permanecer entre 20 e 30 objetos. Acima disso, caracteriza recirculação causada por falha na separação A/B ou por saídas cheias.</p>
	<p>Contêineres Triados.</p> <p>Monitora a quantidade de contêineres movimentados na operação de triagem. Usado para calcular a quantidade de veículos necessários para transporte.</p>
	<p>Início/Fim.</p> <p>Monitora o horário e inicial e final do simulador. Usado somente quando a velocidade de “ticks” está configurada para normal.</p> 

Fonte: o autor.

Quadro 12. Contadores do simulador, (continuação).

Monitor/Função.	
<div> <div>qtd Entrada-01 124</div> <div>qtd Entrada-02 124</div> <div>qtd Entrada-03 122</div> <div>qtd Entrada-04 120</div> <div>qtd Entrada-05 107</div> <div>qtd Entrada-06 124</div> <div>qtd Entrada-07 122</div> <div>qtd Entrada-08 119</div> <div>qtd Entrada-09 118</div> <div>qtd Entrada-10 101</div> </div>	<p>Quantidade de objetos nas entradas.</p> <p>Monitora a quantidade de objetos inseridos em cada entrada do equipamento de triagem. Varia conforme o estado: ligado/desligado, ou de acordo com a disponibilidade de bandejas vazias no carrossel.</p>
	<p>Produção Média.</p> <p>Monitora a produção média instantânea e o tempo de operação transcorrido em minutos.</p>
<div>Objetos (inseridos) 1181</div>	<p>Objetos (inseridos): monitora a quantidade total de objetos inseridos na máquina.</p>
<div>Total Triado 1132</div>	<p>Total Triado: monitora a quantidade de objetos efetivamente triados corretamente nas saídas: A, B, C, e D.</p>
<div>Total Rejeitado 0</div>	<p>Total Rejeitado: monitora a quantidade de objetos rejeitados por erro de leitura do código de barras. Quanto menor, melhor.</p>
<div>Rejeicao (%) 4.15</div>	<p>Rejeição: monitora o índice de rejeição de leitura do código de barras das encomendas.</p>

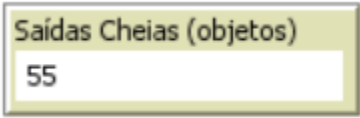
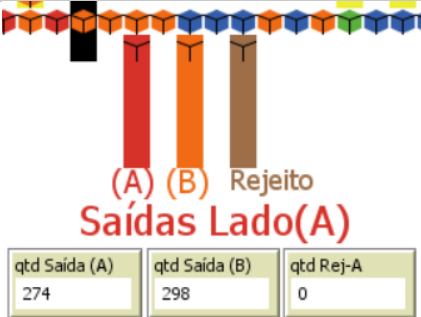
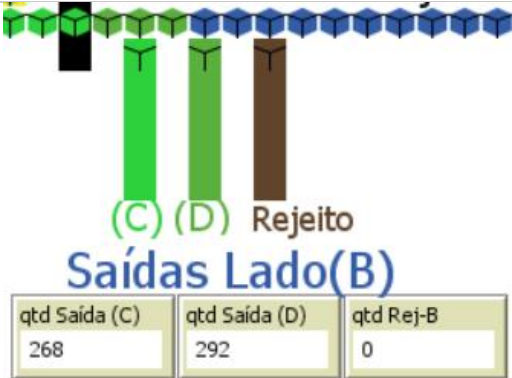
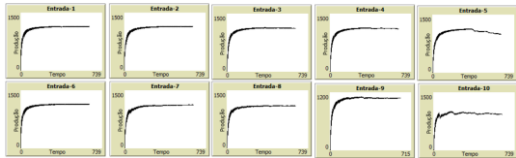
Fonte: o autor.

Quadro 12. Contadores do simulador, (continuação).

Monitor/Função.	
<div> Separação Entrada (A/B) (%) 104.33 </div> <div> <p>Gráfico de Separação Entrada (A/B) (%) vs Tempo. O eixo Y representa a porcentagem de separação, variando de 0 a 100. O eixo X representa o tempo, variando de 0 a 739. A curva mostra uma rápida ascensão, atingindo aproximadamente 100% em torno do tempo 100, e continuando a subir lentamente para atingir o valor final de 104.33% no tempo 739.</p> </div>	<p>Separação Entrada (A/B).</p> <p>Monitora o índice de separação correta nas entradas A/B. Quanto maior, melhor.</p>
<div> (%) Rejeição de Objetos 4.15 </div> <div> <p>Gráfico de (%) Rejeição de Objetos vs Tempo. O eixo Y representa a porcentagem de rejeição, variando de 0 a 100. O eixo X representa o tempo, variando de 0 a 739. A curva começa em 100% no tempo 0 e decai rapidamente, atingindo um valor próximo a 0% em torno do tempo 200, e estabilizando-se em 4.15% no tempo 739.</p> </div>	<p>Índice de Rejeição de Objetos</p> <p>Monitora o índice de rejeição de objetos. Quanto menor, melhor.</p>
<div> (%) Saídas Cheias 4.66 </div> <div> <p>Gráfico de (%) Saídas Cheias vs Tempo. O eixo Y representa a porcentagem de saídas cheias, variando de 0 a 100. O eixo X representa o tempo, variando de 0 a 739. A curva permanece muito próxima de 0% ao longo de todo o tempo, com pequenas flutuações, atingindo o valor final de 4.66% no tempo 739.</p> </div>	<p>Índice de Saídas Cheias</p> <p>Monitora o índice de saídas cheias. Quanto menor, melhor.</p>

Fonte: o autor.

Quadro 12. Contadores do simulador, (continuação).

Monitor/Função.	
	<p>Saídas Cheias.</p> <p>Monitora a quantidade de objetos não basculados corretamente por motivo de saída bloqueada. Quanto menor, melhor.</p>
	<p>Quantidade de objetos nas saídas: Lado (A).</p> <p>Monitora a quantidade de objetos basculados nas saídas A, B, e Rejeito (Lado-A).</p>
	<p>Quantidade de objetos nas saídas: Lado (B).</p> <p>Monitora a quantidade de objetos basculados nas saídas A, B, e Rejeito (Lado-B).</p>
	<p>Quantidade de Objetos: entradas.</p> <p>Gráfico que monitora a quantidade de objetos inseridos em cada entrada.</p>

Fonte: o autor.

O tempo transcorrido no ambiente de simulação deve manter estreita relação matemática com o mundo real. Na linguagem de programação Netlogo, ele é computado por meio do atributo “ticks”, (DE SOUZA, 2019).

A partir de análise quantitativa dos dados reais extraídos do equipamento de triagem, considera-se (para efeito de cálculo de correspondência de tempo) produção máxima hipotética de 12.600 objetos por hora, em condições ideais de operação.

2.7. Execução dos experimentos

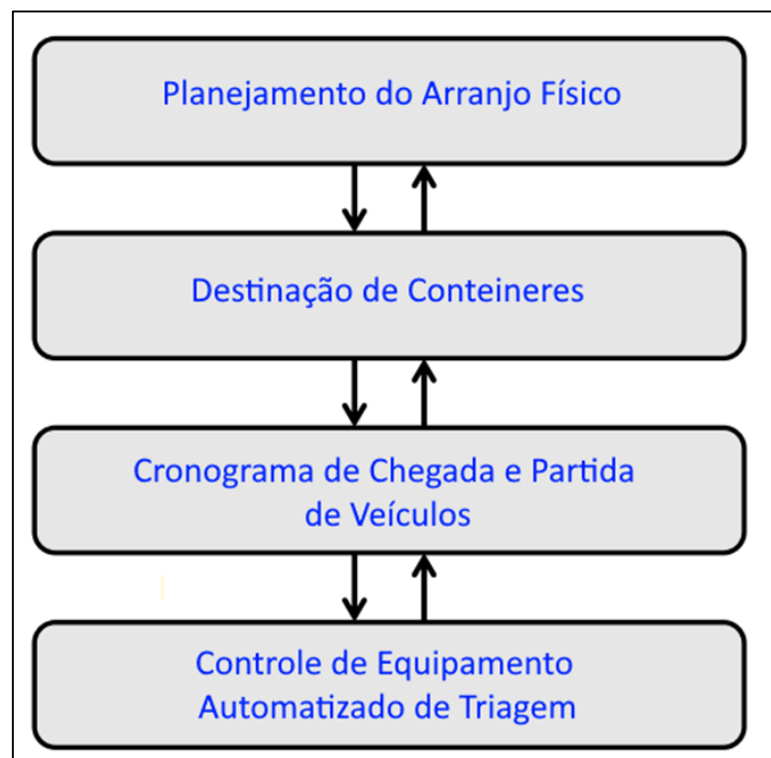
Os experimentos conduzidos nesta pesquisa consideram uma operação de triagem automatizada de encomendas e cuja produção máxima prevista, em condições ideais de desempenho, sem interrupções por falhas ou avarias é de 12.600. objetos por hora.

Para tanto, a escala de tempo utilizada aponta para que uma hora transcorrida no mundo real corresponda a 6.300 “ticks” do simulador Netlogo.

Além disso, foram adotados os seguintes parâmetros em ambos os lados do simulador: Rejeição (0%), Saída Cheia (0%), e Separação (100%).

Fedtke e Boysen (2017) identificam, conforme a Figura 27, a hierarquia de decisões a serem tomadas pelos administradores de centros de triagem de objetos.

Figura 27. Hierarquia de modelagem em centros de triagem de encomendas.



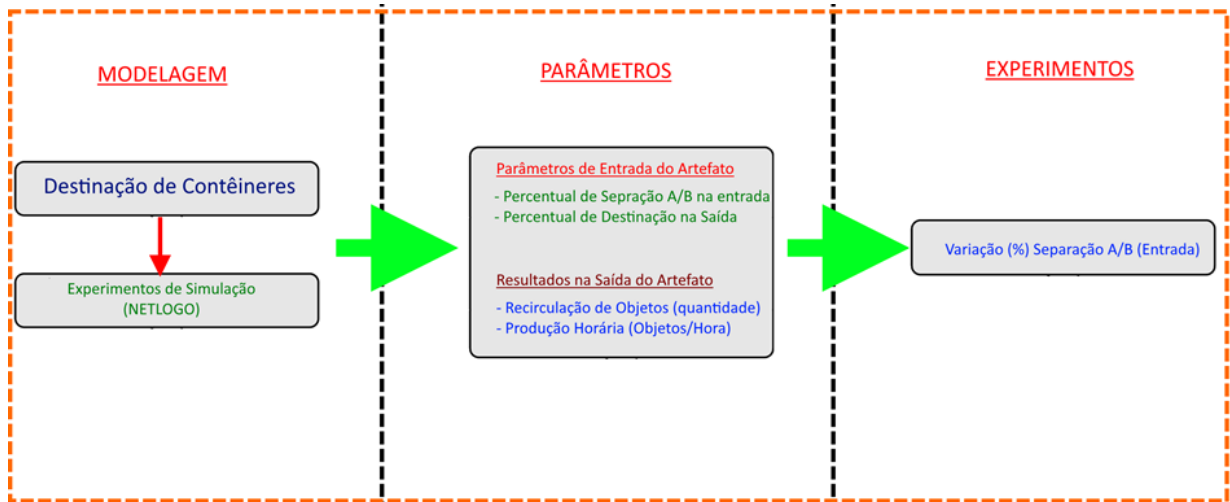
Fonte: o autor.

2.7.1. Destinação de objetos.

Este experimento visa a avaliar a interferência do nível de separação de objetos nas entradas A/B sobre a produção máxima do equipamento de triagem. Neste ensaio de simulação, foram fixados os seguintes parâmetros: Tempo (1 hora), Rejeição (0%) em ambos os lados, Saída Cheia (0%) em ambos os lados.

A Figura 28 apresenta o esquema de condução do experimento de simulação de destinação de objetos conforme a variação do percentual de Separação A/B nas entradas do equipamento automatizado de triagem.

Figura 28. Experimento de simulação: destinação de objetos.



Fonte. O autor.

2.7.2. Rejeição de objetos e Saídas Cheias.

Este experimento visa a avaliar o impacto da rejeição de objetos causada pela falha na leitura do código de barras na produtividade do equipamento de triagem de encomendas. Neste ensaio de simulação, foram fixados os seguintes parâmetros: Tempo (1 hora), Separação (100%) em ambos os lados, Saída Cheia (0%) em ambos os lados. Os resultados são apresentados na Tabela 8.

Os resultados do experimento de saídas cheias são apresentados na Tabela 9, e segue a seguinte configuração de parâmetros: tempo (1 hora), Separação (100%) em ambos os lados, Rejeição (0%) em ambos os lados.

A Figura 29 apresenta o esquema de condução do experimento de simulação de destinação de controle do equipamento, conforme a variação índice de rejeição de objetos, e no índice de saídas cheias.

Figura 29. Experimento de simulação: controle de equipamento.



Fonte: o autor.

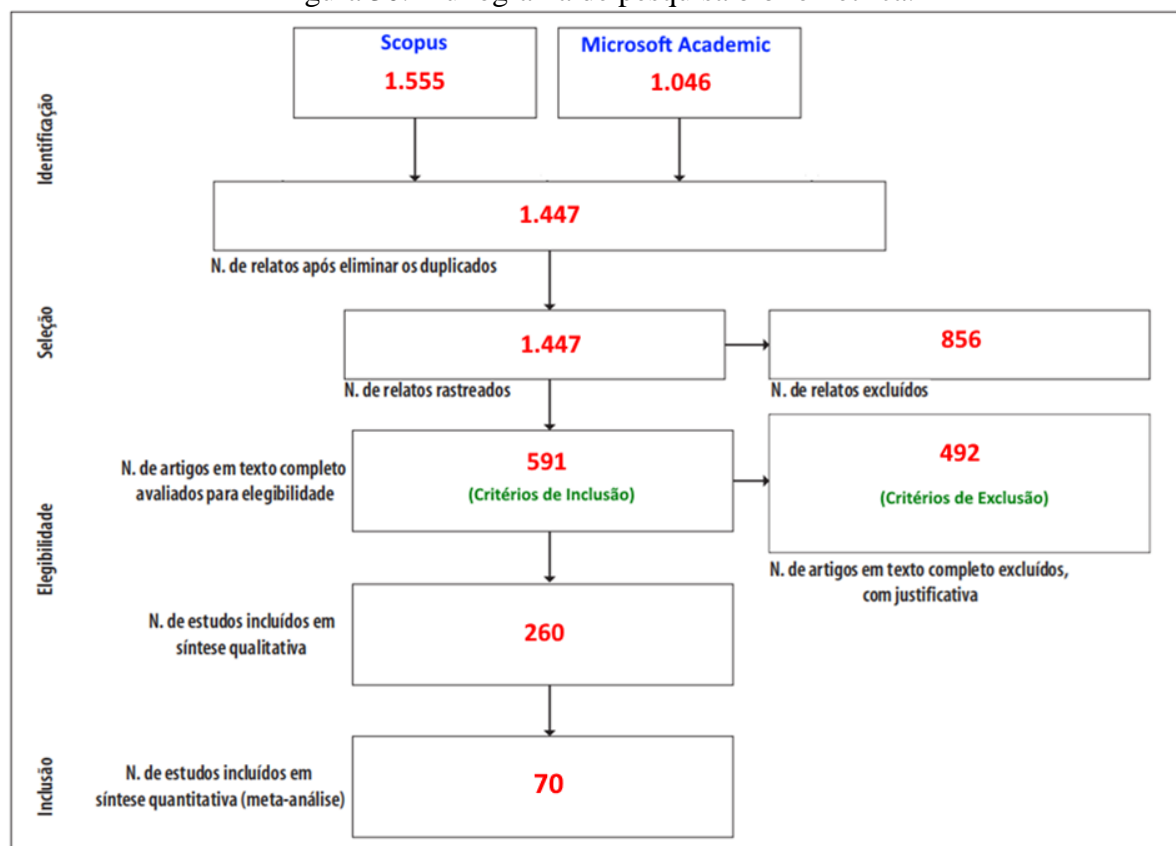
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da revisão de literatura, foram identificadas técnicas, aplicações práticas, metodologias, linguagens de programação e publicações relevantes a respeito de modelos de simulação computacional baseados em agentes aplicados a sistemas produtivos logísticos.

3.1 Fluxograma da pesquisa bibliométrica.

A Figura 30 ilustra o diagrama de realização da pesquisa bibliométrica.

Figura 30. Fluxograma de pesquisa bibliométrica.



Fonte: o autor.

3.2 Quadro resumo de publicações.

O Quadro 13 relaciona os títulos das publicações selecionadas em ordem decrescente de quantidade de citações, conforme os dados computados na base de dados: Google Scholar, acessado em novembro de 2021.

Quadro 13. Quadro resumo de publicações.

Título	Citações
Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review, (BRAILSFOR <i>et al.</i> , 2019).	145
Simulating participatory urban freight transport policymaking: Accounting for heterogeneous stakeholders' preferences and interaction effects, (MARCUCCI <i>et al.</i> , 2017).	104
Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains, (Utomo; Onggo; Eldridge, 2018).	82
Simulation-based optimization framework for multi-echelon inventory systems under uncertainty (CHU; YOU; WASSICK, 2015).	76
Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study, (LOHMER; BUGERT; LASCH, 2020).	68
Crowdsourced delivery for last-mile distribution: An agent-based modelling and simulation approach, (CHEN; CHANKOV, 2017)	29
A service-oriented framework for agent-based simulations of collaborative supply chains, (DORIGATTI <i>et al.</i> , 2016).	29
Fleet sizing in chemical supply chains using agent-based simulation, (SHA; SRINIVASAN, 2016).	29
Collaborative routing of products using a self-organizing mechatronic agent framework-A simulation study, (RIBEIRO <i>et al.</i> , 2015).	24
DES/ABS Approach to Simulate Warehouse Operations, (PAWLEWSKI, 2015).	22
Developing service supply chains by using agent-based simulation, (ROUZAFZON; HELO, 2018).	22
Simulating Dynamic Vehicle Routing Problem using Agent-Based Modeling and Simulation, (SOPHA; SIAGIAN; ASIH, 2016).	20
Optimal inventory control with sequential online auction in agriculture supply chain: an agent-based simulation optimization approach, (HUANG; SONG, 2018).	19
Simultaneous internalization of traffic congestion and noise exposure costs, (KADDOURA; NAGEL, 2018).	18
SimMobility Freight: An agent-based urban freight simulator for evaluating logistics solutions, (SAKAI <i>et al.</i> , 2020).	17
Sustainable Operations Management in Logistics Using Simulations and Modelling: A Framework for Decision Making in Delivery Management, (GALROUDBARY, 2019).	16
Simulation-based evaluation of urban consolidation centers considering urban access regulations, (ELBERT; FRIEDRICH, 2018).	15
Cross-docking assessment and optimization using multi-agent co-simulation: a case study, (SUH, 2015).	15
Evaluating Urban Logistics Schemes Using Agent-based Simulation, (VAN HEESWIJK <i>et al.</i> , 2020).	15
Agent-Based Simulation of urban goods distribution: a literature review, (NUZZOLO; PERSIA; POLIMENI, 2018).	14
Multienterprise supply chain: Simulation and optimization, (SAHAY; IERAPETRITOU, 2016).	13
Risk averse sourcing in a stochastic supply chain: A simulation-optimization approach, (HEIDARY; AGHAIE, 2019).	12

Fonte: Google Scholar, acesso em Junho de 2021.

Quadro 13. Quadro resumo de publicações, (continuação).

Título	Citações
On-road Air Pollution Exposure to Cyclists in an Agent-Based Simulation Framework, (AGARWAL; KADDOURA, 2020).	9
Effectiveness of Dynamic Insertion Scheduling Strategy for Demand-Responsive Paratransit Vehicles Using Agent-Based Simulation, (TORKJAZI; HUYNH, 2019).	9
Single Wagonload Production Schemes Improvements Using GüterSim (Agent-based Simulation Tool), (MANCERA; BRUCKMAN; WEIDMANN, 2015).	8
A case study for simulation and optimization-based planning of production and logistics systems, (SOBOTTKA <i>et al.</i> , 2017).	8
A service-oriented simulation integration platform for hierarchical manufacturing planning and control, (XU, 2016).	7
Agent-Based Simulation in Logistics and Supply Chain Research: Literature Review and Analysis, (CLAUSEM <i>et al.</i> , 2017).	6
Urban consolidation and cargo bikes: a simulation study, (ELBERT; FRIEDRICH, 2020).	6
A simulation of contract farming using agent-based modeling, (HANDAYATI <i>et al.</i> , 2016).	6
A simulation-based evaluation of a Cargo-Hitching service for E-commerce using mobility-on-demand vehicles, (ALHO <i>et al.</i> , 2020).	5
Agent-Based Simulation for Modeling Supply Chains: A Comparative Case Study, (CHRISTOS; DIMITRIOS; DIMITRIOS, 2016).	5
Supplier selection decision-making in supply chain risk scenario using agent-based simulation, (LI <i>et al.</i> , 2015).	5
Modeling and simulation of bus assembling process using DES/ABS approach, (PAWLEWSKI; KLUSKA, 2017).	5
Conceptual Agent Based Model Simulation for the Port Nautical Services, (DAVYDENKO; FRANSEZ, 2019).	4
A methodology for determining the dynamic exchange of resources in nuclear fuel cycle simulation, (GIDDEN; WILSON, 2016).	4
Simulating the Structural Evolution in Agri-food Supply Chain: An Agent-Based Model, (FANG; PUQING, 2015).	3
Simulating urban freight flows in e-grocery scenarios accounting for consumer heterogeneous preferences, (LE PIRA <i>et al.</i> , 2020).	3
An agent-based simulation framework for supply chain disruptions and facility fortification, (LI; KIZITO; PAULA, 2018).	3
Scale Dependency in Agent-Based Modeling: How Many Time Steps? How Many Simulations? How Many Agents? (WATTS, 2018).	3
Logistics horizontal collaboration: an agent-based simulation approach to model collaboration dynamics, (ZHU, 2017).	3
Parallel Shortest-path Searches in Multiagent-based Simulations with PlaSMA, (GATH; HERZOG; VASKE, 2015).	2
Agent-based simulation of contract rice farming in the Mekong Delta, Vietnam, (KHANH <i>et al.</i> , 2017).	2
Hybrid Simulation Model for the Upstream Rubber Supply Chain, (MANISRI; PICHITLAMKEN, 2017).	2

Fonte: Google Scholar, acesso em Junho de 2021.

Quadro 13. Quadro resumo de publicações, (continuação).

Título	Citações
Agent-based modeling and simulation of pooled warehouse intelligent management, (MATHLOUTHI; SAOUD; SBOUI, 2015).	2
Simulation-based analysis of the nervousness within semiconductors supply chain planning: insight from a case study, (MOUSAVI <i>et al.</i> , 2019).	2
Developing a multi-method simulation model of a green closed-loop supply chain and determining pricing and advertising policy against a competitor, (PARSAIYAN <i>et al.</i> , 2019).	2
Developing Logistics and Supply Chain Management by Using Agent-Based Simulation, (ROUZAFZON; HELO, 2016).	2
Simulating long-term performance of regional distribution centers in archipelagic logistics systems, (SOPHA <i>et al.</i> , 2020).	2
Modelling Dairy Supply Chain in West Java using Agent-Based Simulation, (UTOMO; ONGGO; ELDRIDGE, 2018).	2
Governance of Transitions. A Simulation Experiment on Urban Transportation, (WEYER; ADEL; HOFFMANN, 2017).	2
Modelo de Simulação Baseada em Agentes para avaliar política de distribuição de cargas urbanas do e-commerce, (ALVES <i>et al.</i> , 2019).	1
Modelling a Hybrid Supply Chain using Discrete Event Simulation, (BARA; GAUTIER; GIARD, 2020).	1
An Agent-based Simulation of a QoS-oriented Supply Chain, (GUMZEJ; ROSI, 2017).	1
Fruit supply chain simulation: a literature review, (LAU; KANCHANASUWAN, 2015).	1
Multi-agent System for Simulation of Response to Supply Chain Disruptions, (TAN <i>et al.</i> , 2019).	1
Improving and comparing data collection methodologies for decision rule calibration in agent-based simulation: a case study of dairy supply chain in Indonesia, (UTOMO, 2018).	1
A simulation framework to evaluate urban logistics schemes, (VAN HEESWIJKA <i>et al.</i> , 2018).	1
Simulation of regional logistics systems with agent-based modelling: a Dubai case study, (FABBRI, 2020).	0
Évaluation de la performance de stratégies logistiques inverses dans le secteur de la vente au détail par la simulation à base d'agents, (FARMER, 2015).	0
What impact does online grocery shopping have on urban transport? - Simulating location choice, passenger, and freight transport in Berlin, (HELDT <i>et al.</i> , 2018).	0
Integrating Multi-agent Simulations into Enterprise Application Landscapes, (KAMPIK; NAJJAR, 2019).	0
Modelling and Simulating Safety and Efficiency at an Unsignalized Intersection, (KARKHANIS <i>et al.</i> , 2020).	0
Bayesian Optimization Algorithm with Agent-based Supply Chain Simulator for Multi-echelon Inventory Management, (KIUCHI <i>et al.</i> , 2020).	0
Developing Multi-Agent Systems Using Agent-Based and Geographic Information System Simulation, (SEMBIRING <i>et al.</i> , 2020).	0
Agent-Based Simulation Improves e-grocery Deliveries Using Horizontal Cooperation, (SERRANO-HERNANDES <i>et al.</i> , 2020).	0

Fonte: Google Scholar, acesso em Junho de 2021.

Quadro 13. Quadro resumo de publicações, (continuação).

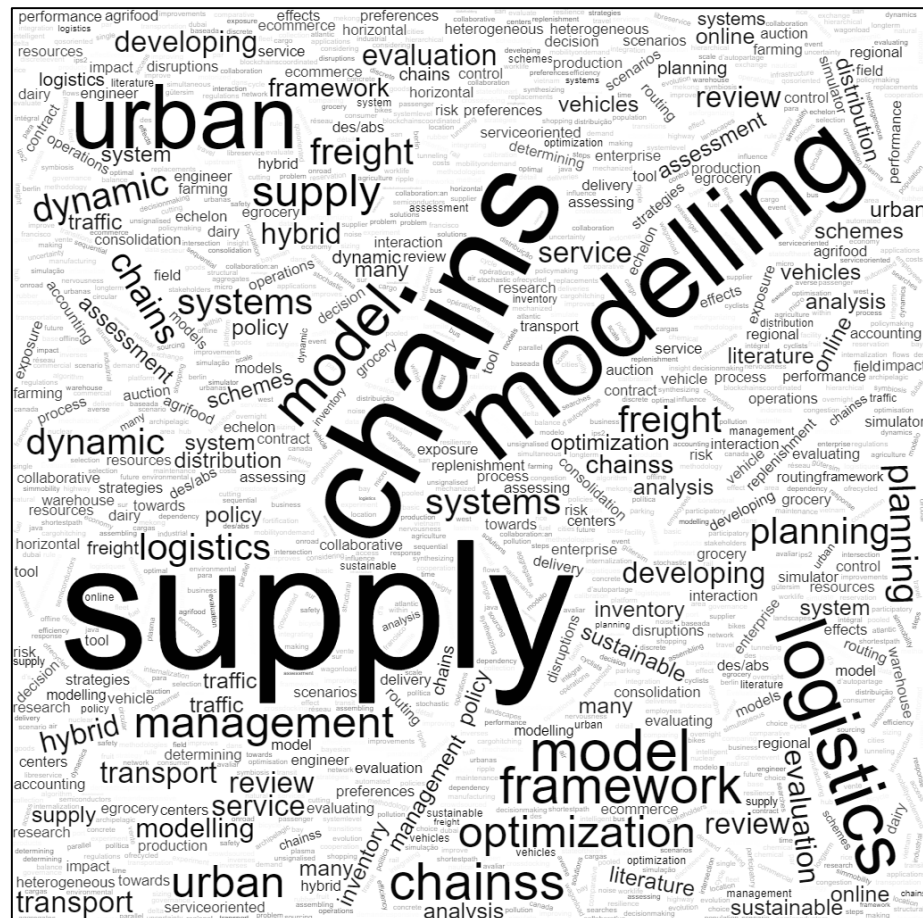
Título	Citações
Field Service Engineer Replenishment Policy Assessment using a Hybrid Simulation Model: A Case Study, (SUH, 2015).	0
Towards A More Sustainable Future? Simulating the Environmental Impact of Online and Offline Grocery Supply Chains, (TROTT; VON VIEBAHN; LANDWEHR, 2020).	0
Towards circular economy through industrial symbiosis: a case of recycled concrete aggregates using agent-based simulation, (YU, 2021).	0
Agent-Based Simulation for Sustainable Management of Supply Chain and Natural Resources: Basic Model, (ZAIMA, 2019).	0

Fonte: Google Scholar, acesso em Novembro de 2021.

3.3 Nuvem de palavras de títulos de publicações do quadro resumo.

A Figura 31 ilustra a nuvem de palavras dos títulos das publicações selecionadas constantes do Quadro 13, obtida por meio do website: www.wordclouds.com.

Figura 31. Análise qualitativa: nuvem de palavras constantes dos títulos.



Fonte. O autor.

3.4 Referencial teórico de modelos de triagem automatizada de encomendas.

O Quadro 14 relaciona as principais publicações acadêmicas a respeito da modelagem de equipamentos automatizados de triagem de encomendas do tipo “closed-loop” consideradas na consecução desta pesquisa.

Quadro 14. Referencial teórico de modelos de triagem automatizada de encomendas.

Título
(BOYSEN <i>et al.</i> , 2019), Automated sortation conveyors: A survey from an operational research perspective.
(CHEN <i>et al.</i> , 2019), Solving a Sortation Conveyor Layout Design Problem with Simulation-optimization Approach.
(CLAUSEN <i>et al.</i> , 2017), Operating parcel transshipment terminals: a combined simulation and optimization approach.
(EDMONDS, 2017) Different Modelling Purposes. (ABAR <i>et al.</i> , 2017), Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software.

Fonte: o autor.

3.5 Experimento: destinação dos objetos (separação A/B).

Os resultados do experimento de destinação de objetos, apontam para que: quanto maior o indicador de separação A/B nas entradas, maior é a produção obtida, conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6. Experimento: destinação de objetos (Separação A/B).

Índice: Separação Entradas (A/B)	Produção (objetos)
100,0%	12.602
97,5%	12.303
95,1%	12.006
92,2%	11.767
89,9%	11.474
87,7%	11.285
85,1%	11.038
82,4%	10.810
80,2%	10.577
77,8%	10.262
75,3%	10.097
72,7%	9.889
70,3%	9.739
68,1%	9.564
65,0%	9.441
63,0%	9.185

Fonte: o autor.

Tabela 6. Experimento: destinação de objetos (Separação A/B), (continuação).

Índice: Separação Entradas (A/B)	Produção (objetos)
60,5%	9.117
57,4%	8.897
55,5%	8.797
52,5%	8.621
50,1%	8.514
48,0%	8.399
45,3%	8.234
42,5%	8.111
40,3%	8.010
37,5%	7.862
35,2%	7.693
32,3%	7.566
30,4%	7.504
27,7%	7.408
25,3%	7.282
22,3%	7.179
20,1%	7.081
17,1%	6.995
15,1%	6.886
11,9%	6.798
10,2%	6.724
7,3%	6.669
5,0%	6.549
1,3%	6.498
0,0%	6.322

Fonte: o autor.

3.6 Experimento: Rejeição de objetos.

Os resultados do experimento de destinação de objetos, apontam para que: quanto menor o indicador de rejeição de objetos, causado por falha na leitura do código de barras afixados nas embalagens das encomendas, maior é a produção obtida, conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7. Experimento: Rejeição de Objetos.

Objetos (inseridos)	Objetos (rejeitados)	Produção (objetos)	Percentual (rejeito)
12.600	12.600	0	100,0%
12.600	12.275	325	97,4%
12.600	11.921	679	94,6%
12.600	11.644	956	92,4%

Fonte: o autor.

Tabela 7. Experimento: Rejeição de Objetos, (continuação).

Objetos (inseridos)	Objetos (rejeitados)	Produção (objetos)	Percentual (rejeito)
12.600	11.309	1.291	89,8%
12.600	11.016	1.584	87,4%
12.600	10.669	1.931	84,7%
12.600	10.393	2.207	82,5%
12.600	9.991	2.609	79,3%
12.600	9.759	2.841	77,5%
12.600	9.502	3.098	75,4%
12.600	9.077	3.523	72,0%
12.600	8.785	3.815	69,7%
12.600	8.454	4.146	67,1%
12.600	8.253	4.347	65,5%
12.600	7.948	4.652	63,1%
12.600	7.657	4.943	60,8%
12.600	7.204	5.396	57,2%
12.600	7.041	5.559	55,9%
12.600	6.555	6.045	52,0%
12.600	6.161	6.439	48,9%
12.600	5.939	6.661	47,1%
12.600	5.668	6.932	45,0%
12.600	5.315	7.285	42,2%
12.600	5.112	7.488	40,6%
12.600	4.723	7.877	37,5%
12.600	4.431	8.169	35,2%
12.600	4.139	8.461	32,9%
12.600	3.764	8.836	29,9%
12.600	3.493	9.107	27,7%
12.600	3.147	9.453	25,0%
12.600	2.770	9.830	22,0%
12.600	2.563	10.037	20,3%
12.600	2.199	10.401	17,5%
12.600	1.862	10.738	14,8%
12.600	1.547	11.053	12,3%
12.600	1.258	11.342	10,0%
12.600	969	11.631	7,7%
12.600	674	11.926	5,4%
12.600	299	12.301	2,4%
12.600	0	12.600	0,0%

Fonte: o autor.

3.7 Experimento: Saídas Cheias.

Os resultados do experimento de saídas cheias, apontam para que: quanto menor o indicador de saídas cheias, causado pela demora no desabastecimento das encomendas nas estações de saída, melhor a produção obtida, conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8. Experimento: Saídas Cheias.

Saídas (cheias)	Produção (objetos)
100,0%	0
99,9%	12
97,4%	331
96,8%	399
94,9%	641
93,6%	803
91,8%	1.029
90,5%	1.198
89,3%	1.354
87,2%	1.613
85,8%	1.785
84,1%	2.002
81,8%	2.298
81,2%	2.373
78,8%	2.668
77,1%	2.887
75,6%	3.073
72,7%	3.435
71,3%	3.614
68,8%	3.929
65,8%	4.306
64,1%	4.520
61,7%	4.832
59,9%	5.056
57,0%	5.413
53,6%	5.843
51,4%	6.130
48,9%	6.439
46,3%	6.761
42,7%	7.224
40,4%	7.513
35,8%	8.089
33,5%	8.375
29,7%	8.855

Fonte: o autor.

Tabela 8. Experimento: Saídas Cheias, (continuação).

Saídas (cheias)	Produção (objetos)
26,6%	9.248
22,4%	9.778
18,6%	10.251
14,1%	10.820
9,5%	11.401
5,2%	11.951
0,0%	12.600

Fonte: o autor.

3.8 Análise de cenários.

Conforme Abar *et al.* (2017), a criação de cenários auxilia a aumentar o desempenho de sistemas produtivos à medida que são identificadas as causas de falhas e gargalos operacionais.

3.8.1 Cenário-1. Melhoria do indicador: separação da carga (A/B).

Este cenário simula o aumento da qualidade do indicador: Separação A/B nas entradas do equipamento automatizado de triagem. Na primeira hora de operação, ele é configurado para o valor de 25% em cada lado do equipamento, nas três seguintes, a qualidade é aumentada para 50%, 75%, e 100% (máxima qualidade), respectivamente. Para desconsiderar os efeitos das demais falhas sobre os resultados aferidos neste cenário, os parâmetros: índices de rejeição, e de saídas cheias são ambos configurados para 0% (máxima qualidade).

Os resultados, demonstrados na Tabela 9, apontam para o aumento da produção horária nas esteiras de entrada, à medida que aumenta o percentual de acerto de inserção das encomendas no lado correto (A/B) do equipamento.

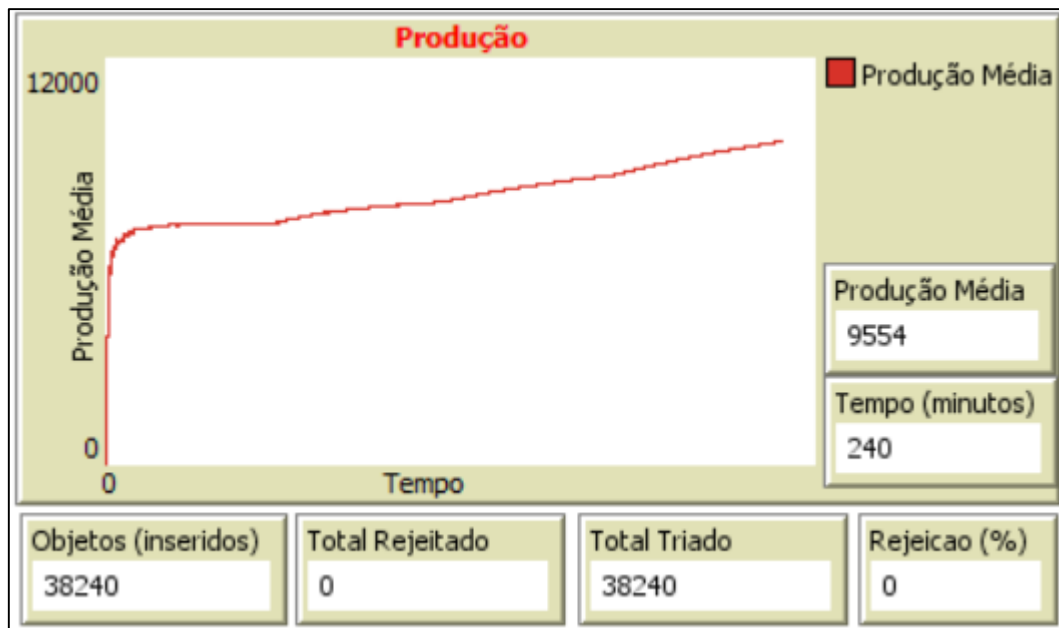
Tabela 9. Quantidade de objetos inseridos nas entradas: Cenário-1.

Cenário-1 Produção Horária (objetos/hora)	Separação A/B (%)			
	1ªh: 25%	2ªh: 50%	3ªh: 75%	4ªh: 100%
Entrada-1	1.101	1.131	1.197	1.256
Entrada-2	1.109	961	1.163	1.254
Entrada-3	853	942	1.100	1.250
Entrada-4	568	690	954	1.244
Entrada-5	248	301	596	1.224
Entrada-6	1.084	1.150	1.195	1.260
Entrada-7	957	1.083	1.154	1.260
Entrada-8	793	947	1.092	1.259
Entrada-9	513	729	954	1.259
Entrada-10	181	331	629	1.257
Total	7.407	8.265	10.034	12.523

Fonte: o autor.

A Figura 32 apresenta o monitor de produção horária do simulador Netlogo correspondente aos resultados simulados no Cenário-1, que demonstra aumento da produção horária em função do aumento da qualidade de separação da carga (A/B) nas esteiras de entrada do equipamento de triagem.

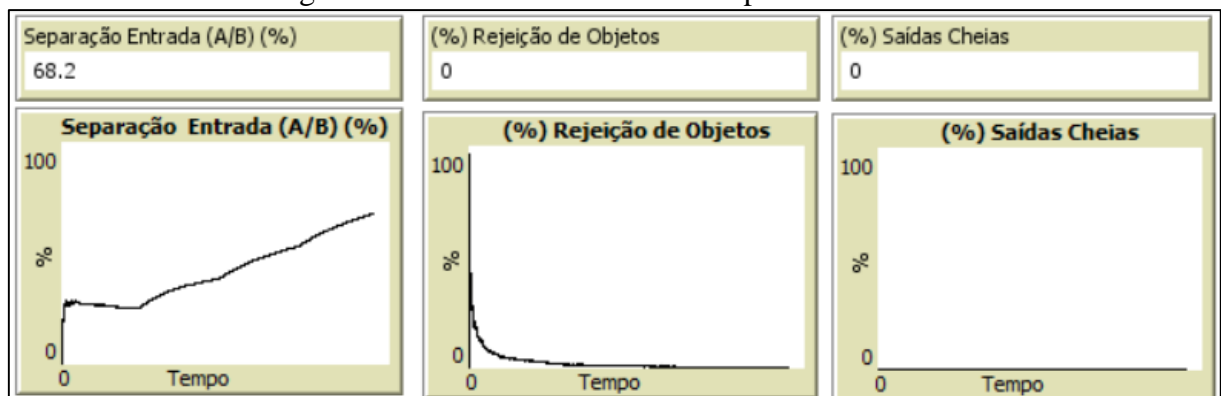
Figura 32. Monitor de produção horária: Cenário-1.



Fonte: o autor.

A Figura 33 apresenta a evolução da qualidade do indicador de separação (A/B) nas entradas ao longo do tempo, excluídos os efeitos dos demais tipos de falhas: rejeição de objetos, e saídas cheias.

Figura 33. Monitor de Indicadores Operacionais: Cenário-1.

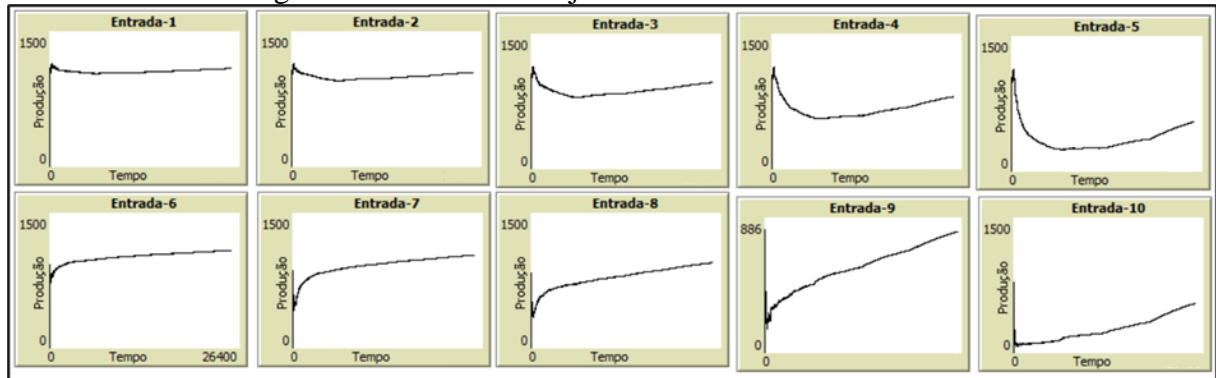


Fonte: o autor.

A Figura 34 apresenta o monitor da evolução da quantidade de objetos inseridos em cada uma das esteiras de entrada, conforme aumenta a qualidade do indicador: Separação Entrada (A/B), ao longo do tempo.

Os resultados apontam para que a baixa qualidade deste indicador causa o mesmo efeito do desligamento de uma esteira de entrada, conforme demonstra o período inicial dos monitores da Esteira-5 e Esteira-10, o que impacta negativamente o desempenho da produção horária do equipamento de triagem.

Figura 34. Monitor de objetos inseridos nas entradas: Cenário-1.



Fonte: o autor.

3.8.2 Cenário 2. Melhoria do indicador: Saídas Cheias.

Este cenário simula a diminuição da qualidade do indicador: Saídas Cheias causado pela demora no desabastecimento das estações de saída.

Na primeira hora de operação, ele é configurado para o valor de 0% (máxima qualidade) em cada lado do equipamento, nas três seguintes, a qualidade cai para 25%, 50%, e 75% de objetos em recirculação causados por saídas cheias (bloqueadas), respectivamente.

Para desconsiderar os efeitos das demais falhas sobre os resultados aferidos neste cenário, os parâmetros: índices de separação A/B é configurado para 100% (máxima qualidade), e de rejeição de objetos causado por falha na leitura do código de barras para 0% (máxima qualidade).

Os resultados, demonstrados na Tabela 10, apontam para a diminuição da produção horária nas esteiras de entrada, à medida que aumenta o índice saídas cheias.

Tabela 10. Quantidade de objetos inseridos nas entradas: Cenário-2.

Cenário-2 Produção Horária (objetos/hora)	% Saídas Cheias			
	1ªh: 0%	2ªh: 25%	3ªh: 50%	4ªh: 75%
Entrada-1	1.260	1.113	1.011	487
Entrada-2	1.260	1.027	694	280
Entrada-3	1.260	872	406	77
Entrada-4	1.260	601	147	12
Entrada-5	1.260	257	32	0

Fonte: o autor.

Tabela 10. Quantidade de objetos inseridos nas entradas: Cenário-2, (continuação).

Produção Horária (objetos/hora)	1ªh: 0%	2ªh: 25%	3ªh: 50%	4ªh: 75%
Entrada-6	1.260	1.110	907	575
Entrada-7	1.260	1.028	698	278
Entrada-8	1.260	865	393	72
Entrada-9	1.260	567	127	10
Entrada-10	1.260	243	23	1
Total	12.600	7.683	4.438	1.792

Fonte: o autor.

A Figura 35 apresenta o monitor de produção horária do simulador Netlogo correspondente aos resultados simulados no Cenário-2, que demonstra diminuição da produção horária em função do aumento da quantidade de objetos que circulam no carrossel de transporte causada por saídas cheias (bloqueadas).

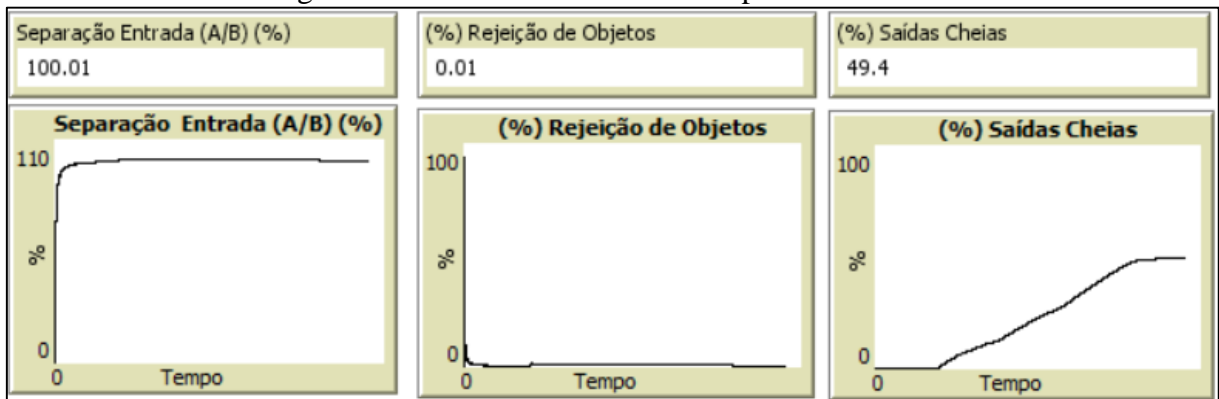
Figura 35. Monitor de produção horária: Cenário-2.



Fonte: o autor.

A Figura 36 apresenta a evolução da queda da qualidade do indicador de Saídas cheias (bloqueadas) nas estações de saída ao longo do tempo, sendo afastados os efeitos das demais falhas: separação (A/B) na entrada, e rejeição de objetos.

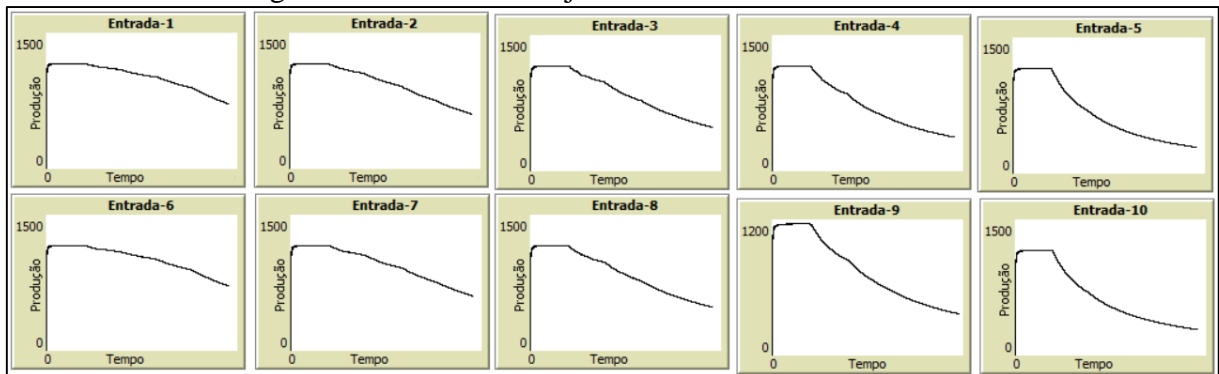
Figura 36. Monitor de Indicadores Operacionais: Cenário-2.



Fonte: o autor.

A Figura 37 apresenta o monitor da evolução da quantidade de objetos inseridos em cada uma das esteiras de entrada, conforme diminui a qualidade do indicador: Saídas Cheias, ao longo do tempo. Os resultados apontam para que a baixa qualidade deste indicador aumenta a quantidade de objetos circulando no carrossel. A Figura 19 demonstra que estes ocupam bandejas no carrossel até que a saída esteja desobstruída, o que impede a inserção de novos objetos e o efeito é a queda da produção, conforme evidenciado no período final dos monitores da Esteira-5 e Esteira-10. Portanto, o aumento da quantidade de saídas cheias impacta negativamente o desempenho da produção horária do equipamento.

Figura 37. Monitor de objetos inseridos nas entradas: Cenário-2.



Fonte: o autor.

3.8.3 Cenário-3. Melhoria do indicador: Rejeição de Objetos.

Este cenário simula a diminuição da qualidade do indicador: Rejeição de Objetos na leitura do código de barras das informações de CEP e registro constantes dos invólucros dos objetos, realizada pelo scanner.

Na primeira hora de operação, ele é configurado para o valor de 0% (máxima qualidade) em cada lado do equipamento, nas três horas seguintes, a qualidade cai para 25%, 50%, e 75%, de objetos rejeitados, respectivamente. Para desconsiderar os efeitos destes indicadores sobre

os resultados obtidos neste cenário, os parâmetros: índices de separação A/B é configurado para 100% (máxima qualidade), e de saídas bloqueadas para 0% (máxima qualidade).

Os resultados, demonstrados na Tabela 11, indicam que a queda da qualidade deste indicador não afeta a produção nas entradas do equipamento. No entanto, impacta negativamente o indicador de produção horária de objetos válidos, conforme Figura 38.

Tabela 11. Quantidade de objetos inseridos nas entradas: Cenário-3.

Cenário-3	Rejeição de Objetos			
Produção Horária (objetos/hora)	1ªh: 0%	2ªh: 25%	3ªh: 50%	4ªh: 75%
Entrada-1	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-2	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-3	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-4	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-5	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-6	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-7	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-8	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-9	1.260	2.520	3.780	5.040
Entrada-10	1.260	2.520	3.780	5.040
Total	12.600	25.200	37.800	50.400

Fonte: o autor.

A Figura 38 apresenta o monitor de produção horária do simulador Netlogo correspondente aos resultados simulados no Cenário-3 onde fica evidenciado que o aumento deste indicador diminui a produção horária de objetos válidos.

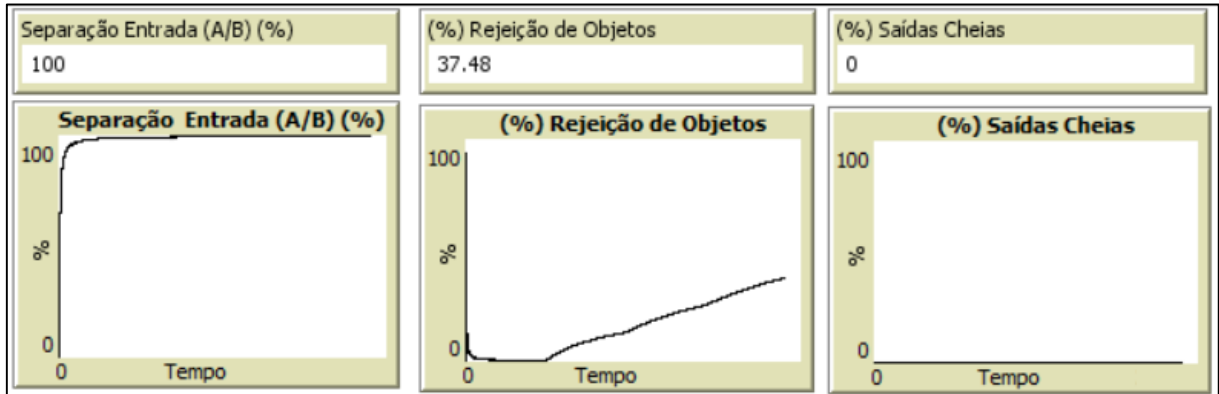
Figura 38. Monitor de produção horária: Cenário-3.



Fonte: o autor.

A Figura 39 apresenta a evolução da queda da qualidade do indicador de saídas cheias ao longo do tempo, sendo afastados os efeitos das demais falhas: separação A/B nas entradas, e Saídas Cheias.

Figura 39. Monitor de Indicadores Operacionais: Cenário-3.

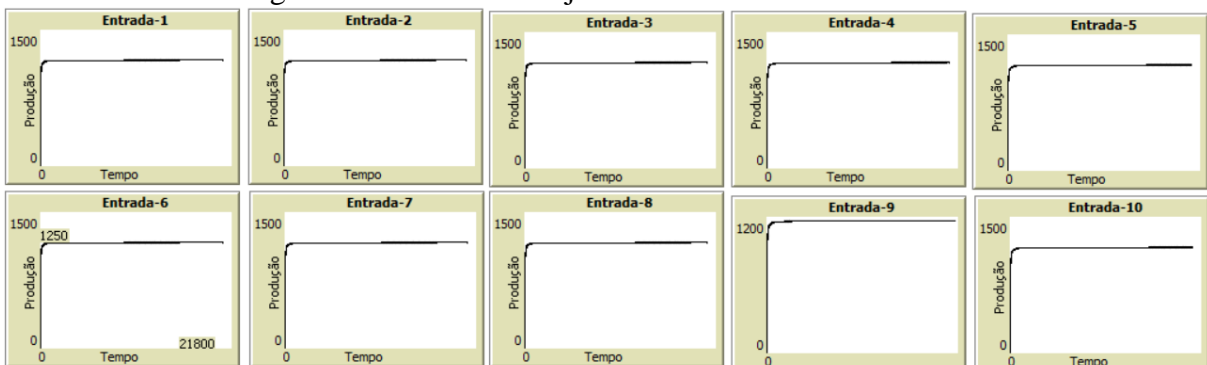


Fonte: o autor.

A Figura 40 apresenta o monitor da evolução da quantidade de objetos inseridos em cada uma das esteiras de entrada, conforme diminui a qualidade do indicador: Rejeição de Objetos, ao longo do tempo.

Os resultados apontam para que a baixa qualidade deste indicador em nada afeta a produção das esteiras de entrada. No entanto, impacta negativamente o desempenho da produção horária de objetos (válidos) do equipamento de triagem, conforme Figura 38.

Figura 40. Monitor de objetos inseridos nas entradas: Cenário-3.



Fonte: o autor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado o crescimento do setor de entrega de encomendas nos últimos anos, sobretudo em virtude das restrições impostas pela pandemia COVID-19 que aumentou ainda mais a necessidade por serviços de entrega residencial dos mais variados tipos de produtos que outrora eram adquiridos em lojas físicas, o sistema produtivo da logística de triagem automatizada de encomendas tem se tornado cada vez mais relevante no cenário de comércio eletrônico nacional.

Neste contexto, simular a operação de equipamentos automatizados de triagem auxilia a aumentar o desempenho operacional deste setor da economia, visto que é possível identificar as causas e as consequências que influenciam a produtividade.

Sendo assim, ainda que Simulação Baseada em Agentes seja aplicada nas mais variadas áreas de conhecimento, desde ciências humanas, naturais e de saúde, até gestão da cadeia de suprimentos, finanças, economia e manufatura, ela encontra amplo campo de aplicação nas áreas de gestão da produção e de processos logísticos.

Esta pesquisa utiliza um simulador em linguagem Netlogo, desenvolvido para simular a triagem automatizada de encomendas. Em virtude da sua versatilidade e curva acelerada de aprendizado, esta linguagem atende perfeitamente às necessidades erigidas nos objetivos desta pesquisa. Ao todo, foram necessárias 80 horas para conceber o software desde a sua ideação inicial até a conclusão.

E escolha pela Simulação Baseada em Agentes se justifica em virtude das limitações dos modelos estocásticos que se baseiam estritamente em dados probabilísticos quando empregados no estudo do comportamento dos elementos de um sistema produtivo.

Ao contrário da Simulação Baseada em Agentes, a abordagem matemática não interpreta o relacionamento e interações comportamentais entre os agentes e o ambiente, daí o motivo pela opção por esta modalidade de simulação.

De maneira geral, a principal vantagem da simulação de processos produtivos é a possibilidade de criação de cenários sem que implique grandes riscos aos negócios da empresa, visto que os experimentos são executados em ambiente computacional controlado.

Os achados dos experimentos apontam para que a maior produtividade é alcançada nas condições ideais: separação A/B (100%), índice rejeição de leitura do código de barras (0%), e

índice de saídas bloqueadas (0%). Sendo assim identificam-se as seguintes iniciativas para aumentar a produtividade:

Elaboração de plano de triagem equilibrado: para aumentar a qualidade do indicador – Balanceamento (Entradas), conforme demonstrado no Quadro 1, é necessário elaborar plano de triagem considerando a mediana (Quartil 2) de ocorrências de CEP dos objetos, desta forma, prevê-se que exatamente a metade dos objetos sejam inseridos nas Entradas – A e a outra nas Entradas – B.

A adequada elaboração de um plano de triagem que deve ponderar: quantidades, peso e volume dos objetos, e o tipo de unitização de carga (malas ou contêineres).

Outro fator relevante é necessidade de minimizar a distância percorrida na movimentação interna de contêineres das saídas até as áreas de armazenagem e transferência nos entrepostos. Isto se faz necessário para atender – em tempo – ao cronograma de partida de veículos de transporte destinados às demais unidades logísticas.

A correta alocação de contêineres nas entradas: os resultados dos experimentos apontam para que a melhoria do indicador: Separação Entradas (A/B), descritas na Tabela 7, aumenta consideravelmente o nível de produtividade do equipamento de triagem de encomendas; quanto maior o índice, maior a produção.

Tanto as entradas como os contêineres devem estar devidamente identificados; recomenda-se intensificar treinamento de todos os agentes envolvidos no processo produtivo para que atuem na adequada rotulagem e destinação da carga desde a postagem pelos clientes nas unidades logísticas de atendimento, captação e coleta das encomendas até o carregamento dos veículos nos entrepostos.

Redução do índice de rejeição: conforme demonstrado na Tabela 8, quanto maior o índice de rejeição de objetos, menor é a produção. Para diminuir os impactos deste tipo de falha sobre a produtividade, sugere-se coleccionar o registro de todas as encomendas rejeitadas por erro de leitura do código de barras, identificar as causas, e acionar as unidades de origem para a devida correção das etiquetas afixadas nos pacotes.

Redução do índice de saídas cheias: conforme demonstrado na Tabela 9, quanto maior o índice de saídas cheias, menor é a produção. Neste sentido, para aumentar a produtividade do sistema produtivo de triagem, sugere-se alocar adequadamente o recurso humano disponível para que não haja gargalos ou sobrecarga de trabalho nas estações de saídas.

4.1 Sugestões para futuros trabalhos.

Para pesquisas futuras, sugere-se a Simulação Baseada em Agentes de arranjos físicos para triagem de encomendas no modo manual – sem o emprego de máquinas automatizadas, pois, na prática, esta modalidade de triagem é a mais aplicada na indústria logística.

Além disso, o simulador desenvolvido nesta pesquisa não efetua cálculo da quantidade necessária de efetivo, distância percorrida na movimentação interna de carga, quantidade necessária de equipamentos de movimentação, área de armazenagem, e quantidade de veículos para transporte e entrega das encomendas nos destinatários finais. Também não leva em consideração os feitos que a alteração das dimensões: peso e volume causam no processo produtivo.

Outra abordagem a ser desenvolvida futuramente, seria a integração de tecnologias de Inteligência Artificial e ciência de dados com uso da linguagem de programação: Python, pois esta linguagem se apresenta como a ideal para análise estatística e manipulação de dados extraídos do simulador.

REFERÊNCIAS

ABAR, S.; THEODOROPOULOS, G. K.; LEMARINIER, P.; O'HARE, G. M. Agent Based Modelling and Simulation tools: A review of the state-of-art software. **Computer Science Review**, Amsterdam, v.24, n.2, p.13-33, 2017.

AGARWAL, A.; KADDOURA, I. On-road air pollution exposure to cyclists in an agent-based simulation framework. **Periodica Polytechnica Transportation Engineering, Hungary**, v. 48, n. 2, p. 117-125, 2020.

ALVES, R.; DA SILVA LIMA, R.; DE PINHO, A. F.; HOLGUÍN-VERAS, J. Modelo de Simulação Baseada em Agentes para avaliar política de distribuição de cargas urbanas do e-commerce. **Revista Transportes**, São Paula, v. 27, n. 3, p. 99-114, 2019.

APIOLA, M.; SUTINEN, E. Design science research for learning software engineering and computational thinking: Four cases. **Computer Applications in Engineering Education**, Washington D.C., v. 29, n. 1, p. 83–101, 2021.

AULD, J.; HOPE, M.; LEY, H.; SOKOLOV, V.; XU, B.; ZHANG, K. POLARIS: Agent-based modeling framework development and implementation for integrated travel demand and network and operations simulations. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 64, [s.d.], p. 101-116, 2016.

BALDI, M. M., MANERBA, D., PERBOLI, G., TADEI, R.; **A Generalized Bin Packing Problem for parcel delivery in last-mile logistics**; Torino, Itália; v. 274, n. 3, p. 990-999, 2019.

BANDEIRA, R. A. M., GONÇALVES, D. N. S., GOES, G. V., OLIVEIRA, C. M., D'AGOSTO, M. A. Sustainable vehicles-based alternatives in last mile distribution of urban freight transport: A systematic literature review. **Sustainability**, [s.d.], v. 9, n. 8, p. 1324, 2017.

BARA, N.; GAUTIER, F.; GIARD, V. Modelling a Hybrid Supply Chain using Discrete Event Simulation, **Centre pour la Communication Scientifique Directe**, France, [s.d.], [s.d.], [s.d.], 2020.

BARBOSA, I. L. M.; ZAMBUZI, N. D. C. Crescimento do Comércio Eletrônico: Impactos

nas Operações Logísticas dos Correios. **ENEGEP 2020 - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Rio de Janeiro, [s.d.], [s.d.], p.17, 2020.

BECKERS, J., CÁRDENAS, I., VANELSLANDER, T.; **E-commerce last mile in Belgium: Developing an external cost delivery index**; Antwerp, Bélgica, [s.d.], [s.d.], p.7, 2017.

BOLARI, M.; LUCIC, D; MOSTARAC, K. New Market Developments and Future Requirements for Postal Services. **XXXV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju**, Belgrado, [s.d], [s.d], p.123-130, 2017.

BOYSEN, N.; BRISKORN, D.; FEDTKE, S.; SCHMICKERATH; M. Automated sortation conveyors: A survey from an operational research perspective. **European Journal of Operational Research**, v. 276, n. 3, p. 796-815, 2019.

BOZYIĞIT, F.; AKTAŞ, Ö.; KILINÇ, D. Linking software requirements and conceptual models: A systematic literature review. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, Amsterdam, v. 24, n. 1, p. 71–82, 2021.

BRAILSFORD, S. C.; ELDABI, T.; KUNC, M.; MUSTAFEE, N.; OSORIO, A. F. Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 278, n. 3, p. 721–737, 2019.

BRETIN, A., DESAULNIERS, G., ROUSSEAU, L.; **Traveling salesman problem with time windows in postal services**; Montreal, Canadá; p.21; 04/2018.

BUCCI, G.; CALLEY, C.; GREEN, M. **Fhwa research and technology evaluation: Agent-based modeling and simulation**. [S. l.]: rosap.ntl.bts.gov, 2018(, Query date: 2021-05-07 08:13:33). Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/37448>.

CALP, M. H.; AKCAYOL, M. A. Optimization of Project Scheduling Activities in Dynamic CPM and PERT Networks Using Genetic Algorithms. **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Ankara, v. 22, n. 2, p. 615, 2018.

CARDOSO, R.; FERRANDO, A. A Review of Agent-Based Programming for Multi-Agent Systems. **Computers**, Basel, Switzerland, v.10, n.2, [s.d.], 2021.

CHEN, J. C.; HUANG, C. F.; CHEN, T. L.; LEE, Y. H. Solving a Sortation Conveyor Layout Design Problem with Simulation-optimization Approach. **International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)**. Tokyo, [s.d.], [s.d.], p. 551-555, 2019.

- CHEN; P.; CHANKOV; S. M. Crowdsourced delivery for last-mile distribution: An agent-based modelling and simulation approach. **International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, Singapore, [s.d.], [s.d.], p. 1271-1275, 2017.
- CHRISTOS; K.; DIMITRIOS; B.; DIMITRIOS; A. Agent-based simulation for modeling supply chains: A comparative case study. **International Journal of New Technology and Research**, Índia, v. 2, n. 10, [s.d.], 2016.
- CHU, Y.; YOU, F.; WASSICK, J. M.; AGARWAL, A. Simulation-based optimization framework for multi-echelon inventory systems under uncertainty. **Computers & Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 73, [s.d.], p. 1-16, 2015.
- CLAUSEN, U.; DIEKMANN, D.; PÖTING, M.; SCHUMACHER, C. Operating parcel transshipment terminals: a combined simulation and optimization approach. **Journal of Simulation**, United Kingdom, v. 11, n. 1, p. 2-10, 2017.
- COCCIA, M. Fishbone diagram for technological analysis and foresight. **International Journal of Foresight and Innovation Policy**, Geneva, v. 14, n. 2/3/4, p. 225, 2020.
- CRAINIC, T. G.; PERBOLI, G.; ROSANO, M. Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 270, n. 2, p. 401–418, 2018.
- CRUZ, D. C. **Estratégia de produção no setor de serviços: um estudo de caso na Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p.133, 2007.
- DABLANC, L. *et al.* **CITYLAB observatory of strategic developments Impacting urban logistics**. [s.d.], v. 4, [s.d.], p. 64-75, 2016.
- DE SOUZA , J. K. G. **Modelagem Baseada Em Agentes No Netlogo: Possibilidades na Educação Matemática e Pesquisa Ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Matemática) - Graduação em Matemática, Universidade Federal do Tocantins. Tocantins, p.88, 2019
- DAVYDENKO, I. Y.; FRANSEN, R. W. Conceptual agent-based model simulation for the Port Nautical Services. **IFAC-Papers OnLine**, Amsterdam, v. 52, n. 3, p. 19-24, 2019.
- DOBRODOLAC, M., LAZAREVIC, D., RADOJICIC, V., ŠVADLENKA, L.; New Express Delivery Service and Its Impact on CO2 Emissions, **Sustainability**; Pardubice, Rep. Checa; v.

12, n. 2, p. 456, 2020.

DORIGATTI, M.; GUARNASCHELLI, A.; CHIOTTI, O.; SALOMONE, H. E. A service-oriented framework for agent-based simulations of collaborative supply chains. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 83, [s.d.], p. 92-107, 2016.

DROŹDZIEL, P.; WIŃSKA, M.; MADLEŇÁK, R.; SZUMSKI, P. Optimization of the Post Logistics Network and Location of the Local Distribution Center in Selected Area of the Lublin Province. **Procedia Engineering**, Amsterdam, v. 192, [s.d.], p. 130–135, 2017.

EDMONDS, B. Different modelling purposes. **In: Simulating social complexity. Springer**, Switzerland, [s.d.], [s.d.], p. 39-58, 2017.

ELBERT, R.; FRIEDRICH, C. Simulation-based evaluation of urban consolidation centers considering urban access regulations. **Winter Simulation Conference**, USA, [s.d.], [s.d.], p. 2827-2838, 2018.

ELBERT, R.; FRIEDRICH, C. Urban consolidation and cargo bikes: a simulation study. **Transportation research procedia**, Amsterdam, v. 48, [s.d.], p. 439-451, 2020.

EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL MARKET, INDUSTRY, ENTREPRENEURSHIP AND SMES.; COPENHAGEN ECONOMICS. **Main developments in the postal sector (2013-2016)**. LU: Publications Office, 2018. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2873/51951>. Acesso em: 29/3/2021.

EVERS, E.; DE VRIES, H.; SPRUIJT, B. M.; STERCK, E. H. The EMO-Model: An Agent-Based Model of Primate Social Behavior Regulated by Two Emotional Dimensions, Anxiety- FEAR and Satisfaction-LIKE. **PLoS ONE**, California, v. 9, n. 2, p. e87955, 2014.

FABBRI, A. **Simulation of regional logistics systems with agent-based modelling: a Dubai case study**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Administração). Politecnico di Torino, Torino - Itália, 2020.

FANG, D; PUQING, W.. Simulating the Structural Evolution in Agri-food Supply Chain: An Agent-Based Model. **International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics**. [s.d.], [s.d.], p. 214-219, 2015.

FARMER, J. G. **Évaluation de la performance de stratégies logistiques inverses dans le secteur de la vente au détail par la simulation à base d'agents**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas). École Polytechnique de Montréal, Montreal – Canadá, 2015.

FEDTKE, S.; BOYSEN, N. Layout planning of sortation conveyors in parcel distribution centers. **Transportation Science**, Catonsville-USA, v. 51, n. 1, p. 3-18, 2017.

FIGUEIREDO, S. A. P.; DE SOUZA, L. N.; SPINOLA, C. de A. O papel dos correios como potencializador do e-commerce nas mpes varejistas de salvador, **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador, v. 2, n. 46, p.26, 2020.

FIKAR, C. A decision support system to investigate food losses in e-grocery deliveries. **Computers & Industrial Engineering**, Amsterdam, v. 117, n.26, p. 282–290, 2018.

GARCÍA-GARCÍA, J. A.; ENRÍQUEZ, J. G.; RUIZ, M.; ARÉVALO, C.; JIMÉNEZ-RAMÍREZ, A. Software Process Simulation Modeling: Systematic literature review. **Computer Standards & Interfaces**, Amsterdam, v. 70, [s.d.], p. 103425, 2020.

GATH, M.; HERZOG, O.; VASKE, M. Parallel Shortest-path Searches in Multiagent-based Simulations with PlaSMA. **ICAART**. Setúbal – Portugal, [s.d.], [s.d.], p. 15-21, 2015.

GIDDEN, M. J.; WILSON, P. P. A methodology for determining the dynamic exchange of resources in nuclear fuel cycle simulation. **Nuclear Engineering and Design**, Amsterdam, v. 310, [s.d.], p. 378-394, 2016.

GLOBAL POSTAL INDUSTRY REPORT; International Post Corporation (IPC); **IPC Annual Review (2020)**. Disponível em: <https://www.ipc.be/sector-data/reports-library/ipc-reports-brochures/gpir2020-key-findings>. Acesso em: 8/7/2021

GOLROUDBARY, S. R.; ZAHRAEE, S. M.; AWAN, U.; KRASLAWSKI, A. Sustainable operations management in logistics using simulations and modelling: A framework for decision making in delivery management. **Procedia Manufacturing**, Amsterdam, v. 30, [s.d.], p. 627-634, 2019.

GRIMM, V.; REVILLA, E.; BERGER, U.; JELTSCH, F.; MOOIJ, W. M.; RAILSBACK, S. F.; THULKE, H. H.; WEINER, J.; WIEGAND, T.; DEANGELIS, D. L. Pattern-Oriented Modeling of Agent-Based Complex Systems: Lessons from Ecology. **Science**, Washington, v. 310, n. 5750, p. 987–991, 2005.

GRIMM, V.; BERGER, U.; BASTIANSEN, F.; ELIASSEN, S.; GINOT, V.; GISKE, J.; GOSS-CUSTARD, J.; GRAND, T.; HEINZ, S. K.; HUSE, G.; HUTH, A.; JEPSEN, J. U.; JØRGENSEN, C.; MOOIJ, W. M.; MÜLLER, B.; PE'ER, G.; PIOU, C.; RAILSBACK, S. F.; ROBBINS, A. M.; ... DEANGELIS, D. L. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 198, n. 1–2, p. 115–126, 2006.

GRIMM, V.; BERGER, U.; DEANGELIS, D. L.; POLHILL, J. G.; GISKE, J.; RAILSBACK, S. F. The ODD protocol: A review and first update. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 221, n. 23, p. 2760–2768, 2010.

GRIMM, V.; SCHMOLKE, A. How to Read and Write TRACE Documentations. **Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Department of Ecological Modeling**, Leipzig-Germany, [s.d.], [s.d.], p.39, 2011.

GRIMM, V.; AUGUSIAK, J.; FOCKS, A.; FRANK, B. M.; GABSI, F.; JOHNSTON, A. S. A.; LIU, C.; MARTIN, B. T.; MELI, M.; RADCHUK, V.; THORBEC, P.; RAILSBACK, S. F. Towards better modelling and decision support: Documenting model development, testing, and analysis using TRACE. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 280, [s.d.], p. 129–139, 2014.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F.; VINCENOT, C. E.; BERGER, U.; GALLAGHER, C.; DEANGELIS, D. L.; EDMONDS, B.; GE, J.; GISKE, J.; GROENEVELD, J.; JOHNSTON, A. S. A.; MILLES, A.; NABE-NIELSEN, J.; POLHILL, J. G.; RADCHUK, V.; ROHWÄDER, M.-S.; STILLMAN, R. A.; THIELE, J. C.; AYLLÓN, D. The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, United Kingdom, v. 23, n. 2, p. 7, 2020.

GUMZEJ, R.; ROSI, B. An Agent-based Simulation of a QoS-oriented Supply Chain. **Promet-Traffic&Transportation**, Zagreb – Croatia, v. 29, n. 6, p. 593-601, 2017.

HALL, A.; VIRRANTAU, K. Visualizing the workings of agent-based models: Diagrams as a tool for communication and knowledge acquisition. **Computers, Environment and Urban Systems**, Amsterdam, v. 58, [s.d.], p. 1–11, 2016.

HANDAYATI, Y.; SIMATUPANG, T. M.; PERDANA, T.; SIALLAGAN, M. A simulation of contract farming using agent-based modeling. **Journal of Operations and Supply Chain Management**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 28-48, 2016.

HEIDARY, M. H.; AGHAIE, A. Risk averse sourcing in a stochastic supply chain: A simulation-optimization approach. **Computers & Industrial Engineering**, Amsterdam, v. 130, [s.d.], p. 62-74, 2019.

HELDT, B.; MATTEIS, T.; HEINRICHS, M.; VON SCHMIDT, A. What impact does online grocery shopping have on urban transport? -Simulating location choice, passenger, and freight transport in Berlin. 2018.

HOU, J., SUN, L., Zhao, L.; **Optimization of postal express line network under mixed driving pattern of trucks**; Nanjing, China; [s.d.], [s.d.], p.23, 2015.

HUANG, J.; SONG, J. Optimal inventory control with sequential online auction in agriculture supply chain: an agent-based simulation optimization approach. **International Journal of Production Research**, Chhattisgarh, India, v. 56, n. 6, p. 2322-2338, 2018.

IANNINO, V.; MOCCI, C.; VANNOCCI, M.; COLLA, V.; CAPUTO, A.; FERRARIS F. An Event-Driven Agent-Based Simulation Model for Industrial Processes. **Applied Sciences**, Constanta, Romania, v. 10, n. 12, p. 4343, 2020.

JANJEVIC, Milena; MERCHÁN, Daniel; WINKENBACH, Matthias. Designing multi-tier, multi-service-level, and multi-modal last-mile distribution networks for omni-channel operations. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 294, n. 3, p. 1059-1077, 2021.

JAXA-ROZEN, M.; KWAKKEL, J. H. PyNetLogo: Linking NetLogo with Python. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 21, n. 2, p. 4, 2018.

KADDOURA, I.; NAGEL, K. Simultaneous internalization of traffic congestion and noise exposure costs. **Transportation**, Switzerland, v. 45, n. 5, p. 1579-1600, 2018.

KAMDAR, R.; PALIWAL, P.; KUMAR, Y. A state of art review on various aspects of multi-agent system. **Journal of Circuits, Systems and Computers**, Singapura, v. 27, n. 11, p. 1830006, 2018.

KAMPIK, T.; NAJJAR, A. Integrating Multi-Agent Simulations into Enterprise Application Landscapes. **International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems**. Suíça, [s.d.], [s.d.], p. 100-111, 2019.

KARKHANIS, P; DAJSUREN, Y; VAN DEN BRAND, M. G.; JOSTEN, J. Modelling and Simulating Safety and Efficiency at an Unsignalised Intersection. **International Conference on Intelligent Transportation Systems**. [s.d.], [s.d.], p. 1-6, 2020.

KHANH, H. N.; CHIONG, R.; CHICA, M.; MIDDLETON, R. H. Agent-based simulation of contract rice farming in the Mekong Delta, Vietnam. **Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems**, Vietnam, [s.d.], [s.d.], p. 127-132, 2017.

KIUCHI, A.; WANG, H.; WANG, Q.; OGURA, T.; NOMOTO, T.; GUPTA, C.; ZHANG, C. BAYESIAN Optimization Algorithm with Agent-based Supply Chain Simulator for Multi-echelon Inventory Management. **16th International Conference on Automation Science and Engineering**, Canada, [s.d.], [s.d.], p. 418-425, 2020.

KRAVARI, K.; BASSILIADES, N. A Survey of Agent Platforms. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Milan, v. 18, n. 1, p. 11, 2015.

KRIZ, W. C. Types of gaming simulation applications. **Simulation & Gaming**, USA, v.48, n.1, p.3-7, 2017.

LAATABI, A.; MARILLEAU, N.; NGUYEN-HUU, T.; HBID, H.; BABRAM, M. A. ODD+2D: An ODD Based Protocol for Mapping Data to Empirical ABMs. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Milan, v. 21, n. 2, p. 9, 2018.

LAGEMANN, H.; BOSSLAU, M.; MEIER, H. The Influence of Dynamic Business Models on IPS2 Network Planning—An Agent-Based Simulation Approach. **Procedia CIRP**, Amsterdam, v. 30, [s.d.], p. 102-107, 2015.

LARSEN, J. Agent programming languages and logics in agent-based simulation. **Modern approaches for intelligent information and database systems**, Switzerland, [s.d.], [s.d.], p. 517-526, 2018.

LAU, C.; KANCHANASUWAN, S. Fruit supply chain simulation: a literature review. **Proceedings of the 20th International Symposium on Logistics**, United Kingdom, [s.d.], [s.d.], p. 740-747, 2015.

LAZAREVIĆ, D.; DOBRODOLAC, M. Sustainability trends in the postal systems of last-mile delivery. **Perner's Contacts**, República Checa, v. 15, n. 1, [s.d.], 2020.

LE PIRA, M.; MARCUCCI, E.; GATTA, V.; PLUCHINO, A.; FAZIO, M.; INTURRI, G.; IGNACCOLO, M. Simulating urban freight flows in e-grocery scenarios accounting for consumer heterogeneous preferences. **Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems**, Canadá, [s.d.], [s.d.], p. 286-291, 2020.

LI, Z. P.; LIM, L. H.; CHEN, X. S.; TAN, C. S. Supplier selection decision-making in supply chain risk scenario using agent-based simulation. **International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, Singapore, [s.d.], [s.d.], p. 900-904, 2015.

- LI, X.; KIZITO, R.; PAULA, T. I. An agent-based simulation framework for supply chain disruptions and facility fortification. **Winter Simulation Conference**, Gothenburg – Sweden, [s.d.], [s.d.], p. 821-832, 2018.
- LIU, Y.; LIU, Y. Simulation modeling for tilt-tray-automatic-sorting system Based on AutoMod. **Seventh International Symposium on Computational Intelligence and Design**. Washington, v. 2, [s.d.], p. 245-248, 2014.
- LOHMER, J.; BUGERT, N.; LASCH, R. Analysis of resilience strategies and ripple effect in blockchain-coordinated supply chains: An agent-based simulation study. **International journal of production economics**, Amsterdam, v. 228, [s.d.], p. 107882, 2020.
- LOVELLETTE, E.; HEXMOOR, H. Lane and speed allocation mechanism for autonomous vehicle agents on a multi-lane highway. **Internet of Things**, Massachusetts, v. 13, [s.d.], p. 100356, mar. 2021.
- MACAL, C. M. Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. **Journal of Simulation**, United Kingdom, v. 10, n. 2, p. 144–156, 2016.
- MACHARIS, C., RAI, H. B., VERLINDE, S.; **The next day, free delivery myth unravelled: Possibilities for sustainable last mile transport in an omnichannel environment**; Brussels, Bélgica; [s.d.], [s.d.], p.17; 12/2018.
- MANCERA, A.; BRUCKMAN, D.; WEIDMANN, U. Single wagonload production schemes improvements using GüterSim (agent-based simulation tool). **Transportation research procedia**, Amsterdam, v. 10, [s.d.], p. 615-624, 2015.
- MANGIARACINA, R., MARCHET, G., PEROTTI, S., TUMINO, A.; **A review of the environmental implications of B2C e-commerce: a logistics perspective**; Milano, Itália; [s.d.], [s.d.], p.29, 2015.
- MANISRI, C.; PICHITLAMKEN, J. Hybrid Simulation Model for the Upstream Rubber Supply Chain. **Industrial Engineering & Management Systems**, Korea, v. 16, n. 3, p. 330-341, 2017.
- MARCUCCI, E.; LE PIRA, M.; GATTA, V.; INTURRI, G.; IGNACCOLO, M.; PLUCHINO, A. Simulating participatory urban freight transport policymaking: Accounting for heterogeneous stakeholders' preferences and interaction effects. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Amsterdam, v. 103, [s.d.], p. 69-86, 2017.

- MARTINS, M. E. G. Quartis. **Revista de Ciência Elementar**, Porto-Portugal, v. 2, n. 4, [s.d.], 2014.
- MATHLOUTHI, W.; SAOUD, N. B. B.; SBOUI, S. Agent-based modeling and simulation of pooled warehouse intelligent management. **Summer Computer Simulation**. USA, [s.d.], [s.d.], p. 1-8, 2015
- MEIJER, S. The Power of Sponges: Comparing High-Tech and Low-Tech Gaming for Innovation. **Simulation & Gaming**, v. 46, n. 5, p. 512–535, 2015.
- MITTAL, A.; KREJCI, C. C. A hybrid simulation modeling framework for regional food hubs. **Journal of Simulation**, United Kingdom, v. 13, n. 1, p. 28–43, 2019.
- MORIMOTO, T., MURAYAMA, Y., ZHENG, Z.; Optimal Location Analysis of Delivery Parcel-Pickup Points Using AHP and Network Huff Model: A Case Study of Shiweitang Sub-District in Guangzhou City, **ISPRS International Journal of Geo-Information**, China; v. 9, n. 4, p. 193, 2020.
- MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D. G., PRISMA GROUP. Reprint—preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Physical therapy**, United Kingdom, v. 89, n. 9, p. 873-880, 2009.
- MOUSAVI, B. A.; AZZOUZ, R.; HEAVEY, C.; EHM, H. Simulation-based analysis of the nervousness within semiconductors supply chain planning: insight from a case study. **Winter Simulation Conference**, United Kingdom, [s.d.], [s.d.], p. 2396-2407, 2019.
- NUZZOLO, A; PERSIA, L.; POLIMENI, A. Agent-Based Simulation of urban goods distribution: a literature review. **Transportation research procedia**, Amsterdam, v. 30, [s.d.], p. 33-42, 2018.
- OLIVEIRA, J. B.; LIMA, R. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. **Simulation Modelling Practice and Theory**, Amsterdam, v. 62, [s.d.], p. 166-191, 2016.
- OZKAYA, M. Are the UML modelling tools powerful enough for practitioners? A literature reviews. **IET Software**, United Kingdom, v. 13, n. 5, p. 338-354, 2019.
- PANDIAN, G. R. S.; ABDUL-KADER, W. Performance evaluation of reverse logistics enterprise – an agent-based simulation approach. **International Journal of Sustainable Engineering**, United Kingdom, v. 10, n. 6, p. 384–398, 2 2017.

PARSAIYAN, S.; AMIRI, M.; AZIMI, P., FARD, M. T. T. Developing a multi-method simulation model of a green closed-loop supply chain and determining pricing and advertising policy against a competitor. **International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling**, Switzerland, v. 10, n. 4, p. 283-322, 2019.

PAWLEWSKI, P. DES/ABS approach to simulate warehouse operations. **International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems**. Italy, [s.d.], [s.d.], p. 115-125, 2015.

PAWLEWSKI, P.; KLUSKA, K. Modeling and simulation of bus assembling process using DES/ABS approach, **Artificial Intelligence Journal**. Salamanca – Espanha, v. 6, n.1, p. 59-72, 2017.

PEFFERS, K. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, United States, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007.

POLHILL, G. Extracting OWL Ontologies from Agent-Based Models: A Netlogo Extension. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, Milan, v. 18, n. 2, p. 15, 2015.

PONTE, B.; SIERRA, E.; DE LA FUENTE, D.; LOZANO, J. Exploring the interaction of inventory policies across the supply chain. **Computers & Operations Research**, Amsterdam, v. 78, [s.d.], [s.d.], 2017.

REDDY, R. H.; KUMAR, S. K.; FERNANDES, K. J.; TIWARI, M. K. A Multi-Agent System based simulation approach for planning procurement operations and scheduling with multiple cross-docks. **Computers & Industrial Engineering**, Amsterdam, v. 107, [s.d.], p. 289-300, 2017.

RIBEIRO, L.; ROCHA, A.; VEIGA, A.; BARATA, J. Collaborative routing of products using a self-organizing mechatronic agent framework—A simulation study. **Computers in Industry**, Amsterdam, v. 68, [s.d.], p. 27-39, 2015.

RIBINO, P.; COSSENTINO, M.; LODATO, C.; LOPES, S. Agent-based simulation study for improving logistic warehouse performance. **Journal of Simulation**, New York, v. 12, n. 1, p. 23-41, 2018.

RONALD, N.; THOMPSON, R.; WINTER, S. Simulating Demand-responsive Transportation: A Review of Agent-based Approaches. **Transport Reviews**, United Kingdom, v. 35, n. 4, p. 404-421, 2015.

ROSANO, M., PERBOLIA, G.; Parcel delivery in urban areas: opportunities and threats for the mix of traditional and green business models; **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Torino, Itália; v. 99, [s.d.], p. 19-36, 2019.

ROUZAFZON, J.; HELO, P. Developing service supply chains by using agent-based simulation. **Industrial Management & Data Systems**, São Paulo, v. 116, n. 2, p. 255-270, 2016.

ROUZAFZON, J.; HELO, P. Developing logistics and supply chain management by using agent-based simulation. **First International Conference on Artificial Intelligence for Industries**, USA, [s.d.], [s.d.], p. 35-38, 2018.

SAHAY, N.; IERAPETRITOU, M. Multienterprise supply chain: Simulation and optimization. **AIChE Journal**, USA, v. 62, n. 9, p. 3392-3403, 2016.

SHA, M.; SRINIVASAN, R. Fleet sizing in chemical supply chains using agent-based simulation. **Computers & Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 84, [s.d.], p. 180–198, 2016.

SAKAI, T.; ALHO, A. R.; BHAVATHRATHAN, B. K.; DALLA CHIARA, G.; GOPALAKRISHNAN, R.; JING, P.; BEN-AKIVA, M. SimMobility Freight: An agent-based urban freight simulator for evaluating logistics solutions. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Amsterdam, v. 141, [s.d.], p. 102017, 2020.

SCHRIJBER, T. J.; BRUNNER, D. T.; SMITH, J. F. Inside discrete-event simulation software: how it works and why it matters. **Winter Simulation Conference**, Huntington Beach, Estados Unidos da América, v.1, [s.d.], p.97-107, 2014.

SCHWABISH, J. A. Ten Guidelines for Better Tables. **Journal of Benefit-Cost Analysis**, Cambridge, v. 11, n. 2, p. 151-178, 2020.

SEMBIRING, N.; SIPAYUNG, R. I. Developing Multi-Agent Systems Using Agent-Based and Geographic Information System Simulation. **International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology**, Canada, [s.d.], [s.d.], p. 114-117, 2020.

SERRANO-HERNANDEZ; A.; FAULIN; J.; DE LA TORRE; R.; CADARSO; L. Agent-based simulation improves E-grocery deliveries using horizontal cooperation. **Winter Simulation Conference**, United Kingdom, [s.d.], [s.d.], p. 1242-1253, 2020.

SHA, M.; SRINIVASAN, R. Fleet sizing in chemical supply chains using agent-based simulation. **Computers & Chemical Engineering**, Amsterdam, v. 84, [s.d.], p. 180-198, 2016.

SOBOTTKA, T.; KAMHUBER, F.; HENJES, J.; SIHN, W. A case study for simulation and optimization-based planning of production and logistics systems. **Winter Simulation Conference**, United Kingdom, [s.d.], [s.d.], p. 3495-3506, 2017.

SOPHA, B. M.; SIAGIAN, A.; ASIH, A. M. S. Simulating dynamic vehicle routing problem using agent-based modeling and simulation. **International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, Singapore, [s.d.], [s.d.], p. 1335-1339, 2016.

SOPHA, B. M.; SAKTI, S.; PRASETIA, A. C. G.; DWIANSARINOPA, M. W.;

SUH, E. S. Cross-docking assessment and optimization using multi-agent co-simulation: a case study. **Flexible Services and Manufacturing Journal**, Switzerland, v. 27, n. 1, p. 115-133, 2015.

SUH, E. S. Field Service Engineer Replenishment Policy Assessment Using a Discrete-Event and Agent-Based Simulation Model: A Case Study. **Journal of Korean Institute of Industrial Engineers**, Korea, v. 41, n. 6, p. 588-598, 2015.

TAN, J.; XU, R.; CHEN, K.; BRAUBACH, L.; JANDER, K.; POKAHR, A. Multi-agent system for simulation of response to supply chain disruptions. **International Symposium on Intelligent and Distributed Computing**. Russia, [s.d.], [s.d.], p. 128-139, 2019.

THIELE, J. C. **Towards Rigorous Agent-based Modelling**. 2014. Tese (Doutorado em Matemática) - Georg-August University School of Science. Göttingen, Alemanha, p.332, 2014.

TORKJAZI, M; HUYNH, N. Effectiveness of dynamic insertion scheduling strategy for demand-responsive paratransit vehicles using agent-based simulation. **Sustainability**. v. 11, n. 19, p. 5391, 2019.

TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V.; FAN, C.-Y.; HSU, A. P. T.; LI, X.-K.; LEE, I. J. Y. IoT patent roadmap for smart logistic service provision in the context of Industry 4.0. **Journal of the Chinese Institute of Engineers**, China, v. 40, n. 7, p. 593–602, 2017

TROTT, M.; VON VIEBAHN, C.; DER LANDWEHR, M. A. Towards A More Sustainable Future? Simulating the Environmental Impact of Online and Offline Grocery Supply Chains. **Winter Simulation Conference**, United Kingdom., [s.d.], [s.d.], p.1218-1229, 2020.

TRIGUEIRO DE SOUSA JUNIOR, W.; BARRA MONTEVECHI, J. A.; DE CARVALHO MIRANDA, R.; TEBERGA CAMPOS, A. Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, Amsterdam, v. 128, [s.d.], p. 526–540, 2019.

UTOMO, Dhanan; ONGGO, B. S. S.; ELDRIDGE, S. Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 269, n. 3, p. 794-805, 2018.

UTOMO, D.; ONGGO, B. S. S.; ELDRIDGE, S. Modelling Dairy Supply Chain in West Java using Agent-Based Simulation, **Lancaster University**, United Kingdom, [s.d.], [s.d.], [s.d.], 2018.

UTOMO, D. S. **Improving and comparing data collection methodologies for decision rule calibration in agent-based simulation: a case study of dairy supply chain in Indonesia**. 2019. Tese (Doutorado em Filosofia). Lancaster University, United Kingdom, 2019.

VAN HEESWIJKA, W. J. A.; MESA, M. R. K.; SCHUTTENA, J. M. J.; ZIJMA, W. H. M. A simulation framework to evaluate urban logistics schemes, **University of Twente**, Países Baixos, [s.d.], [s.d.], [s.d.], 2018.

VAN HEESWIJK, W. J. A.; MES, M. R.; SCHUTTEN, J. M. J.; ZIJM, W. H. M. Evaluating urban logistics schemes using agent-based simulation. **Transportation science**, USA, v. 54, n. 3, p. 651-675, 2020.

VILLARRAGA, J.; CARLEY, K. M.; WASSICK, J.; SAHINIDIS, N. Agent-based modeling and simulation for an order-to-cash process using netlogo. **Institute for Software Research, School of Computer Science, Carnegie Mellon University**. Pittsburgh, USA, p.24, 2017.

WALL, F. Agent-based modeling in managerial science: an illustrative survey and study. **Review of Managerial Science**, Switzerland, v. 10, n. 1, p. 135-193, 2016.

WATTS, J. Scale Dependency in Agent-Based Modeling: How Many Time Steps? How Many Simulations? How Many Agents? **Springer**, Switzerland, [s.d.], [s.d.], p. 91-111, 2016.

WEYER, J.; ADELTE, F.; HOFFMANN, S. Governance of transitions. A simulation experiment on urban transportation. **Social Simulation Conference. Springer**, Switzerland, [s.d.], [s.d.], p. 111-120, 2017.

WILENSKY, U. (1997). NetLogo Traffic Basic model.

<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/TrafficBasic>. Center for Connected Learning and

Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

WILENSKY, U.; RAND, W. **An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo**. Cambridge, Massachusetts London, England: The MIT Press, 2015.

WOLLENBURG, J. Empirical Studies in Multi- and Omni-Channel Retail Operations and Logistics - A Structured Literature Review. **SSRN Electronic Journal**, Amsterdam, [s.d.], [s.d.], [s.d.], 2016. DOI 10.2139/ssrn.2746494.

Disponível em: <http://www.ssrn.com/abstract=2746494>. Acesso em: 28 mar. 2021.

VADIVEL, S. M.; SEQUEIRA, A. H. Enhancing the operational performance of mail processing facility layout selection using multi-criteria decision-making methods.

International Journal of Services and Operations Management, Switzerland, v. 37, n. 1, p. 56-89, 2020.

VAN DUIN, J. H. R.; VLOT, T. S.; TAVASSZY, L. A.; DUINKERKEN, M. B.; VAN DIJK, B. Smart Method for Self-Organization in Last-Mile Parcel Delivery. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, Canada, [s.d.], [s.d.], [s.d.], 2020.

VILLARRAGA, J., CARLEY, K. M., WASSICK, J., SAHINIDIS, N. Agent-based modeling and simulation for an order-to-cash process using Netlogo. Pittsburgh, [s.d.], [s.d.], [s.d.], 2017.

XU, D.; NAGESHWARANIYER, S. S.; SON, Y. J. A service-oriented simulation integration platform for hierarchical manufacturing planning and control. **International Journal of Production Research**, Indica, v. 54, n. 23, p. 7212-7230, 2016.

YU, Y.; YAZAN, D. M.; BHOCHHIBHOYA, S.; VOLKER, L. Towards Circular Economy through Industrial Symbiosis in the Dutch construction industry: A case of recycled concrete aggregates. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, [s.d.], [s.d.], [s.d.], 2021.

ZAIMA, K. Agent-Based Simulation for Sustainable Management of Supply Chain and Natural Resources: Basic Model. **International Simulation and Gaming Association Conference**. Switzerland, [s.d.], [s.d.], p. 423-440, 2019.

ZHANG, H.; LIU, W.; XIONG, H.; DONG, X. Analyzing data flow diagrams by combination of formal methods and visualization techniques. **Journal of Visual Languages & Computing**, Amsterdam, v. 48, [s.d.], p. 41–51, 2018.

ZHENG, Z.; MORIMOTO, T.; MURAYAMA, Y. Optimal Location Analysis of Delivery Parcel-Pickup Points Using AHP and Network Huff Model: A Case Study of Shiweitang Sub-District in Guangzhou City, China. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, Switzerland, v. 9, n. 4, p. 193, 2020.

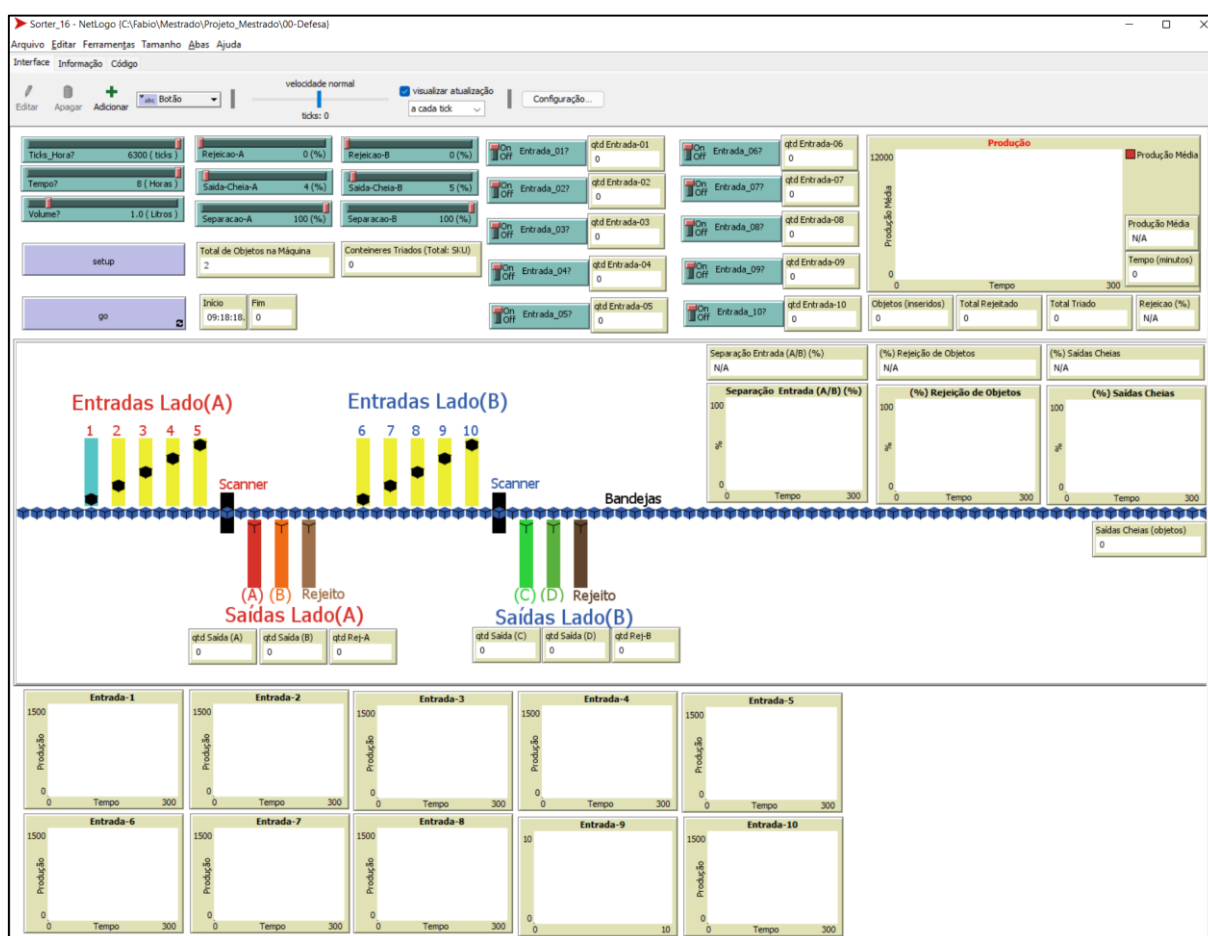
ZHU, J. **Logistics horizontal collaboration: an agent-based simulation approach to model collaboration dynamics**. 2017. Tese (Doutorado em Administração) Lancaster University, United Kingdom, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE – A. Tela inicial do software de simulação do equipamento de triagem.

A Figura 41 apresenta a tela inicial do simulador do equipamento automatizado de triagem de encomendas.

Figura 41. Tela inicial do software de simulação.



Fonte: o autor.