

Aumento de desempenho de equipamento automatizado de triagem de encomendas.

Antônio César Galhardi¹, Fabio Clemonini Pereira²

Resumo: Esta pesquisa propõe uma forma de aumentar o desempenho das operações de triagem automatizada de encomendas que empreguem máquinas do tipo circuito fechado em uma unidade operacional logística dos Correios. A metodologia utilizada (“*Design Science Research*”) preconiza a criação de software de simulação computacional baseada em agentes elaborado na linguagem de programação: Netlogo. Os resultados apontam para: quanto melhor o indicador de alocação de contêineres nas entradas do equipamento, maior a produção máxima obtida num dado período.

Palavras-chave: Netlogo, Triagem Automatizada de Encomendas, Correios, Logística, Simulação Baseada em Agentes.

Abstract: This paper proposes means to increase the performance of closed loop sortation machine operations. By creating an agent-based simulation software using the programming language: Netlogo this research follows the guidelines of Design Science Research methodology. The results show that the production performance increases as the level of correct container allocation at the very initial stage of the sorting process increases.

Keywords: Netlogo, Closed loop sortation machine, Correios, Logistics, Agent Based Simulation.

¹ Centro Estadual De Educação Tecnológica Paula Souza

² Centro Estadual De Educação Tecnológica Paula Souza

antonio.galhardi@cpspos.sp.gov.br

fabio.pereira@cpspos.sp.gov.br

1. Introdução

A tendência de crescimento do volume de transações comerciais em escala global e da participação da modalidade de vendas pela Internet, sobretudo em virtude das restrições para a circulação de pessoas, impostas pela pandemia COVID-19, tem aumentado a importância dos serviços postais no transporte de mercadorias adquiridas pelo comércio eletrônico (BOLARI, 2017).

Tal cenário, tem forçado as empresas prestadoras de serviços logísticos a aprimorar seus padrões de qualidade em razão de maiores exigências quanto às margens de custos e prazos de entrega cada vez mais apertados (VADIVEL; SEQUEIRA, 2020; ZHENG; MORIMOTO; MURAYAMA, 2020; JANJEVIC; MERCHÁN; WINKENBACH, 2021; VAN DUIN *et al.*, 2021).

No sentido de aumentar a eficiência dos processos logísticos, Fedtke e Boysen (2017) avaliam diferentes configurações de arranjos físicos de equipamentos automatizados de triagem empregados nas modernas redes de distribuição de encomendas postais. Nesse estudo, os autores formalizam um novo modelo do chamado: problema de alocação de destino – “*destination assignment problem*” – e apresentam soluções que auxiliam gestores a decidir pela melhor opção de configuração para esse tipo de equipamento.

Os resultados dessa pesquisa demonstraram que o ganho incremental no nível de produção diminui à medida que novas estações de entrada são adicionadas ao equipamento; e que, ao se empregar duas esteiras transportadoras, estas devem girar em sentidos opostos para otimizar a distância e o tempo de permanência dos objetos no carrossel de transporte. Concluem, no entanto, que o maior benefício é obtido com a correta separação da carga no início do processo.

Na sequência, Boysen *et al.* (2019) elaboraram uma extensa revisão de literatura a respeito do tema e constataram a eficácia do emprego desses equipamentos em processos produtivos de triagem de encomendas no setor postal.

A presente pesquisa realiza Simulação Computacional baseada em agentes do processo produtivo de triagem de encomendas postais em uma Centro de Triagem de Encomendas dos Correios que emprega equipamento do tipo “*closed loop*” com o viés de compreender a importância da adequada alocação de objetos nas entradas da máquina de triagem, e sua influência no nível de produção.

2. Simulação de operações logísticas: revisão de literatura.

Ronald, Thompson e Winter (2015) investigaram aplicações da simulação baseada em agentes para o estudo da infraestrutura de transportes, e identificam que estas estão focadas na otimização de roteiros de viagens sem que as preferências e necessidades pessoais dos operadores sejam consideradas. Concluem, no entanto, que a simulação pode sim incorporar tais preferências e capturar a interação entre os operadores e os clientes para aprimorar as operações logísticas.

Utomo *et al.* (2017) revisaram as aplicações da simulação baseada em agentes na administração e planejamento da cadeia de suprimentos de produtos agrícolas e constataram 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) identificaram 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. Nesse estudo, classificaram tendências para a adequada administração de sistemas intermodais de transporte e gestão de fretes.

Nuzzolo, Persia e Polimeni (2018) encontraram na simulação baseada em agentes uma ferramenta adequada para pesquisa e aprimoramento das atividades logísticas de distribuição e fretes, ao utilizarem seis critérios para classificar a literatura pertinente ao tema. Identificaram 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) avaliaram as tecnologias disponíveis de simulação baseada em agentes sobre as operações de transporte e constataram sua aplicabilidade em diversas atividades logísticas correlatas, tais como: planejamento e medidas de segurança nas rodovias, apontando-as em constante expansão.

3. Simulação baseada em agentes: linguagens de programação.

As seguintes publicações relacionam as tecnologias e linguagens de programação disponíveis para a construção de softwares de simulação baseado em agentes.

Auld *et al.* (2016) discutem o desenvolvimento de uma plataforma de programação denominada POLARIS, que se utiliza de técnicas de simulação dinâmica para estudo da demanda por transportes, cadeia de suprimentos e operações logísticas.

Oliveira, Lima e Montevechi (2016) analisam as ferramentas disponíveis para simular operações logísticas da cadeia de suprimentos por meio de uma revisão sistemática de literatura e análise estatística de 189 publicações a respeito do tema. Indicaram dez ferramentas computacionais mais utilizadas, a saber: 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%). Nesse estudo, os autores identificam 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.

ABAR *et al.* (2017) apresentam uma extensa revisão sistemática de literatura de tecnologias computacionais aplicáveis à modelagem de processos e simulação baseada em agentes. Esse estudo contempla 85 linguagens e aplicativos, 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 baseada em agentes.

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 incluiu plataformas de programação de comportamento de agentes, ambientes de simulação, e protocolos de comunicação.

Kamdar, Paliwal e Kumar, (2018) apresentam um amplo estudo sobre vários aspectos de sistemas de simulação baseados em agentes e explicam

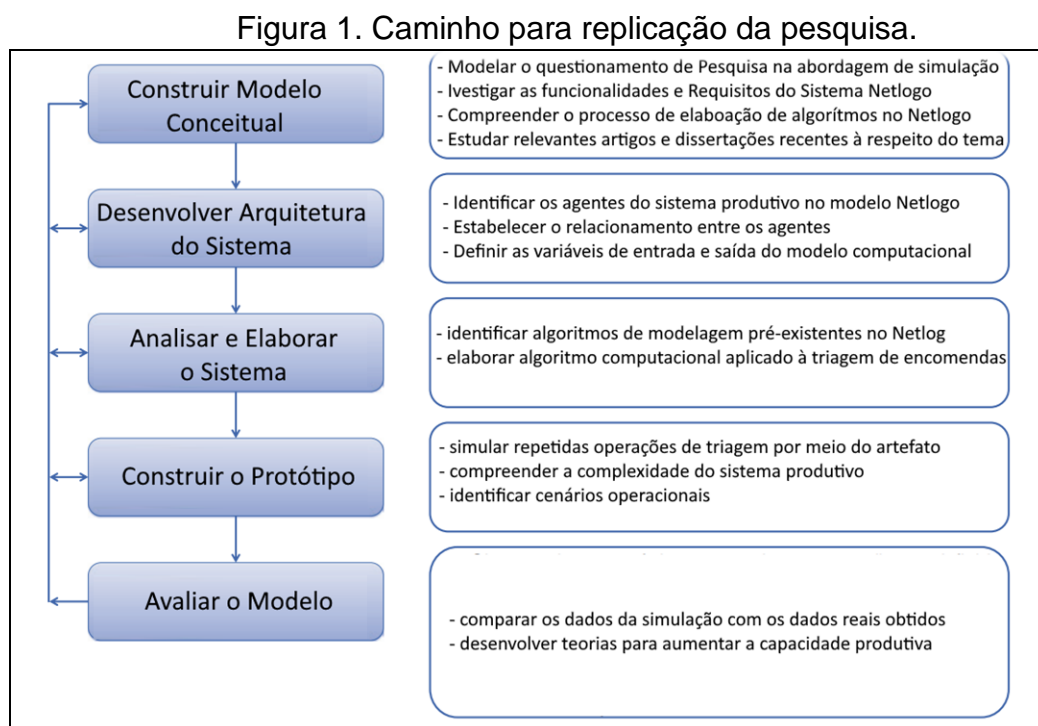
conceitos básicos e suas diversas nomenclaturas. Comparam padrões de construção e arquiteturas de sistemas, identificam aplicações dessa tecnologia para otimização de processos e lista plataformas de programação de software.

Souza (2019) aborda a temática da logística de desastres por meio da linguagem de programação Netlogo.

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 interagem 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.

4. Metodologia

Esta pesquisa utiliza como método da aplicação da ferramenta desenvolvida o “*Design Science Research*” para a construção de software de simulação computacional baseado em agentes do sistema produtivo de triagem automatizada de encomendas em uma unidade logística dos Correios. Para isso, são seguidas as diretrizes apresentadas por Peffers *et al.* (2007) que identificam seis etapas para a construção de artefatos computacionais: identificação do problema e motivação, definição dos objetivos, projeto e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação. A Figura 1 ilustra o caminho para replicar os experimentos aqui propostos.



Fonte: elaborado pelos autores.

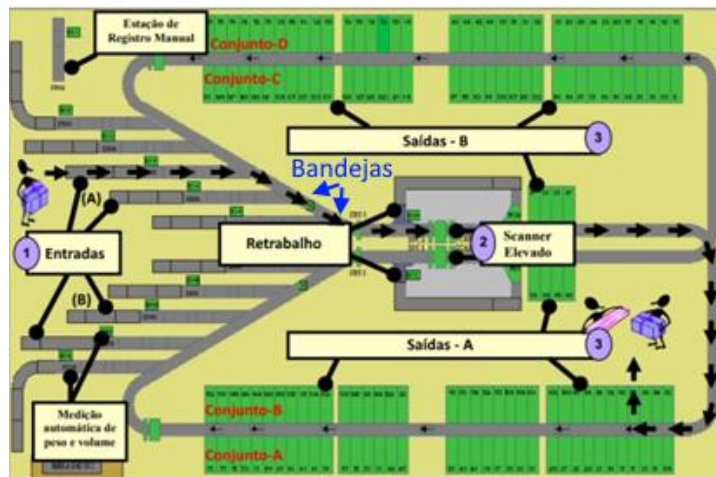
Além disso, para documentar o processo, são seguidas as três etapas básicas de criação de modelos de simulação computacional baseada em

agentes propostas por Grimm *et al.* (2020): desenvolvimento, testagem e análise, e aplicações.

2.1 Agentes

1 - Máquina de triagem. Uma máquina de triagem do tipo “*closed-loop*”, do Inglês: circuito 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 2.

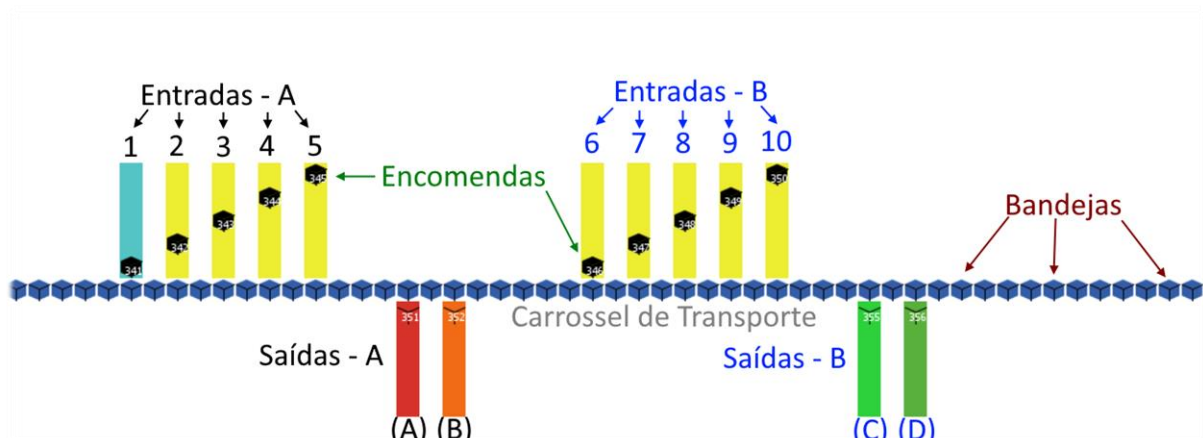
Figura 2. Diagrama de equipamento de triagem de encomendas.



Fonte: adaptado de Cruz (2007).

A modelagem do equipamento de triagem em linguagem de programação: Netlogo é apresentada na Figura 3.

Figura 3. Máquina de Triagem de Encomenda do tipo “*closed-loop*”.



Fonte: elaborado pelos autores.

2 – Encomendas: trata-se dos pacotes inseridos no equipamento que, caso haja bandejas disponíveis, são transportados pelo carrossel até o basculamento nas saídas. Do contrário, aguardam até que haja uma bandeja

desocupada o que implica recirculação indevida de objetos e afeta diretamente o nível de produtividade operacional do sistema produtivo.

3 – Entradas: na estação de entrada, as encomendas são inseridas em uma esteira que as direciona a um sensor responsável pela atribuição dos parâmetros: peso, altura, largura, comprimento e volume.

4 – Bandejas: parafusadas no carrossel transportador, são responsáveis pelo carregamento dos objetos até as estações de saída. 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.

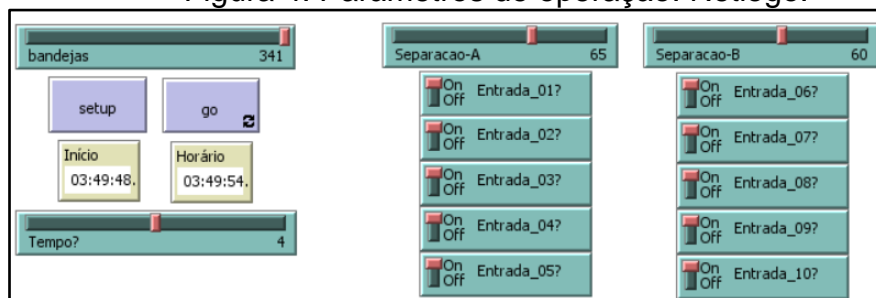
5 – Saídas: por fim, os objetos são direcionados às estações de saída para adequada containerização e correta destinação aos respectivos entrepostos onde são carregados em caminhões ou vans de pequeno porte.

2.2 Parâmetros de Simulação

Para auxiliar os pesquisadores a reproduzirem os experimentos aqui propostos, faz-se necessário descrever os parâmetros correspondentes tanto aos agentes como ao ambiente de simulação pois, à medida que são conhecidas as variáveis matemáticas que compõem o sistema produtivo, é possível identificar as causas e efeitos dos problemas que eventualmente afetem os resultados de um processo produtivo (RIBINO *et al.*, 2018).

A Figura 4 apresenta os comandos Netlogo que simulam a operação da máquina de triagem de encomendas, de maneira tal que seja possível variar: a quantidade de bandejas disponíveis, o tempo real da operação, o índice de separação de carga, e o estado de funcionamento das entradas (ligado ou desligado). A Tabela 1 sumariza os valores máximos e mínimos de tais parâmetros.

Figura 4. Parâmetros de operação: Netlogo.



Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 1. Limites máximos e mínimos dos parâmetros de simulação.

| Parâmetro | Unidade | Mínimo | Máximo |
|---------------|------------------|--------|--------|
| Bandejas | Unidade | 0 | 341 |
| Tempo | Horas | 0 | 8 |
| Separação – A | Percentual (%) | 0 | 100 |
| Separação – B | Percentual (%) | 0 | 100 |
| Entradas | Ligado/Desligado | 0 | 10 |

Fonte: elaborado pelos autores.

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” (SOUZA, 2019).

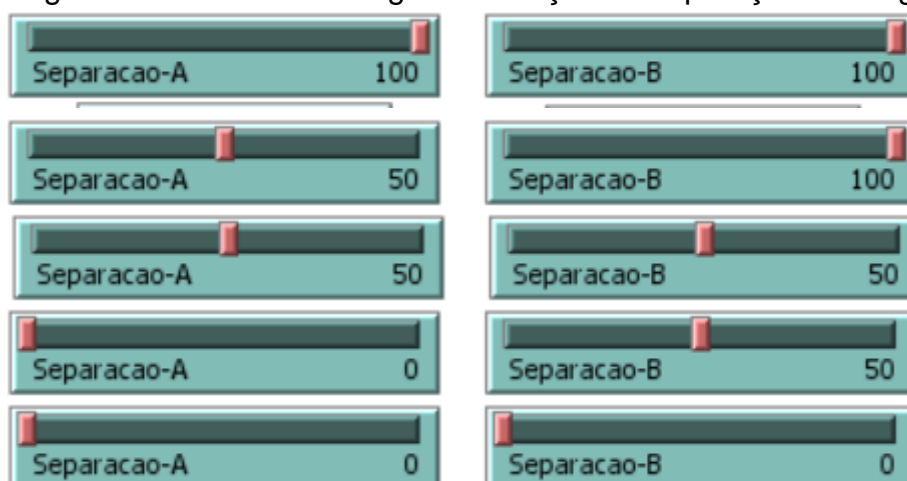
A partir de análise quantitativa dos dados reais extraídos do equipamento de triagem, considera-se (para efeito de cálculo de correspondência de tempo) produção máxima hipotética de 11.680 objetos por hora, em condições ideais de operação. Desta forma, cada minuto do mundo real corresponde a 97,33 “ticks” do sistema Netlogo.

5. Experimentos

O foco desta pesquisa é analisar a interferência do nível de separação de objetos nas entradas sobre a produção máxima do equipamento de triagem. Neste sentido, foram conduzidos ensaios de simulação de uma operação logística de triagem de encomendas no período de quatro horas.

A Figura 5 ilustra possíveis configurações do comando deslizador do aplicativo Netlogo usado para variar (a cada cinco por cento) o índice de separação de objetos: Separação-A e Separação-B.

Figura 5. Deslizador Netlogo de variação de separação de carga A/B.



Fonte: elaborado pelos autores.

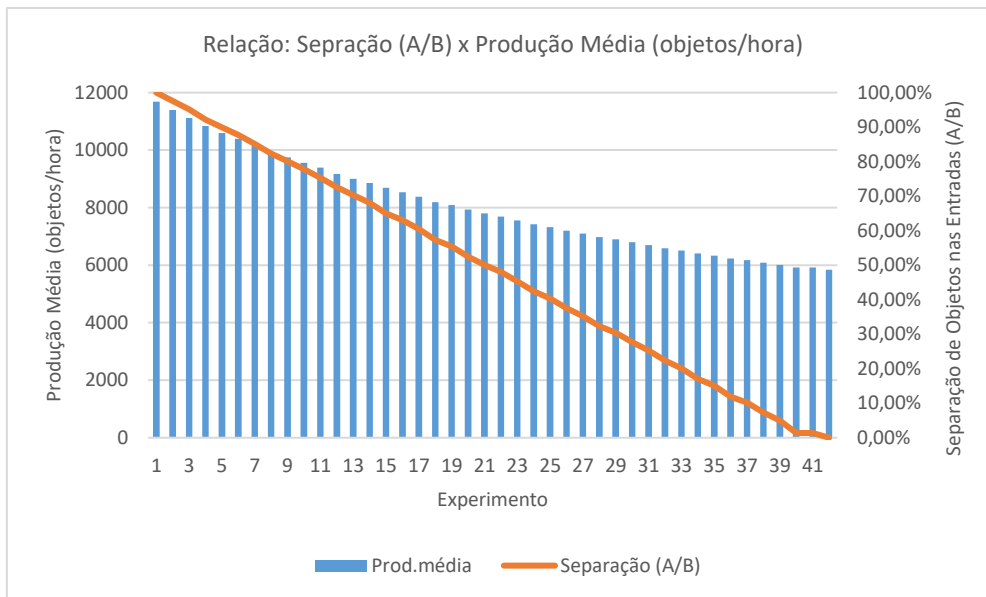
6. Resultados

1 – Produção média: a Figura 6 ilustra a queda do valor médio de produção horária de objetos conforme o indicador de separação de objetos nas entradas A/B do equipamento de triagem diminui.

2 – Recirculação de Objetos: a Figura 7 apresenta o impacto da queda do índice de separação A/B de objetos na entrada do sistema produtivo sobre a quantidade de objetos carregados no carrossel de transporte de encomendas.

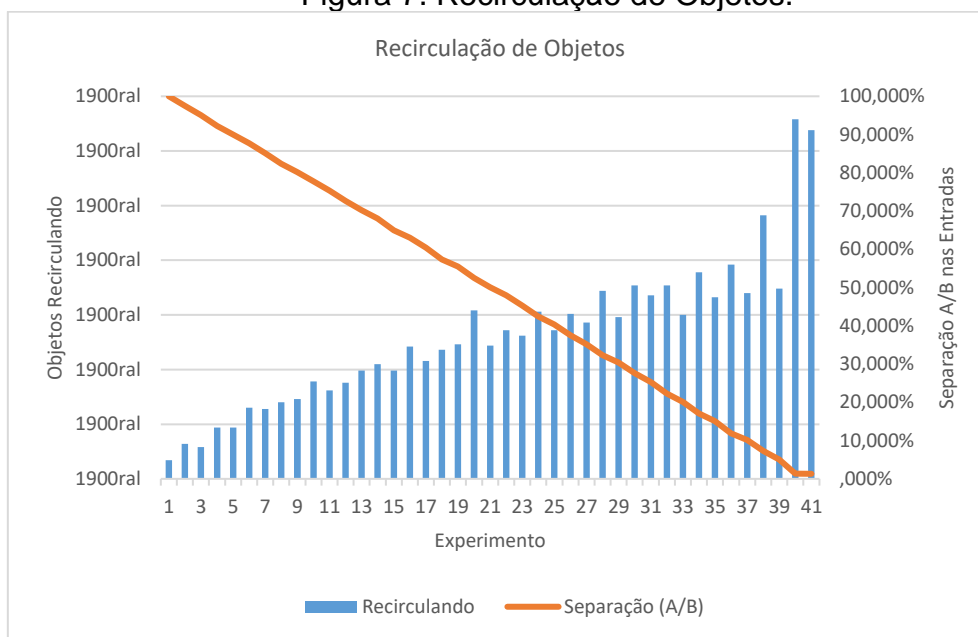
Na prática, à medida que mais e mais objetos são inseridos no lado incorreto do equipamento, estes ocupam desnecessariamente as bandejas de transporte e impedem que novas encomendas sejam acrescentadas ao sistema.

Figura 6. Produção média: objetos/hora.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 7. Recirculação de Objetos.



Fonte: elaborado pelos autores.

7. Considerações Finais

Os resultados desta pesquisa demonstram o impacto da correta separação de objetos sobre o desempenho operacional, e apontam para a seguinte realidade: quanto melhor a separação A/B na entrada do equipamento de triagem, maior é a produção obtida.

Para aumentar o desempenho produtivo do processo de triagem automatizado de encomendas, propõe-se aprimorar a padronização de processos produtivos, especialmente quanto à correta identificação de contêineres oriundos de unidades de operacionais logísticas.

Além disso, observa-se que a contínua capacitação e treinamento de funcionários envolvidos no processo é essencial para garantir a adequada

movimentação interna de carga às estações de entrada nos respectivos lados da máquina: A e B.

Por fim, constata-se que a simulação baseada em agentes mostrou-se adequada para estudar a realidade de sistemas produtivos, tal como no processo de triagem automatizada de encomendas.

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.
- 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.
- 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.
- 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>.
- CARDOSO, R. C.; FERRANDO, A. A Review of Agent-Based Programming for Multi-Agent Systems. **Computers**, v. 10, n. 2, p. 16, 2021.
- 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.
- FEDTKE, S.; BOYSEN, N. Layout Planning of Sortation Conveyors in Parcel Distribution Centers. **Transportation Science**, v. 51, n. 1, p. 3–18, fev. 2017. DOI 10.1287/trsc.2014.0540. Disponível em: <http://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/trsc.2014.0540>. Acesso em: 30 jun. 2021.

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.; 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. **The Journal Of Artificial Societies And Social Simulation**, Milan, v.23, n.3, [s.d.], 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.

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.

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.

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.

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

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 Kington, v. 35, n. 4, p. 404-421, 2015.

DE SOUZA, I. C. **A Simulação Baseada em Agentes na Logística Humanitária: Aplicações do Netlogo**. 189f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2019.

UTOMO, D; ONGGO, B.; ELDRIDGE, S. Modelling Dairy Supply Chain in West Java using Agent-Based Simulation. 10th Operational Research Society Simulation Workshop 2021. Operational Research Society. **10th Operational**

Research Society Simulation Workshop 2021. Operational Research Society, United Kingdom, [s.d.], [s.d.], p. 295-304, 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**, Thousands Oaks, Canada, v. 2675, n. 4, p. 260–270, 2021

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