

ARTIGOS PUBLICAÇÃO CONTÍNUA

Flavia Maria Morais Lazzaretti¹

Simulação de fluxos logísticos no setor de exportações: uma análise de redução de custos por atividade produtiva

Simulation of logistics flows in the export sector: an analysis of cost reduction by productive activity

RESUMO:

Os fluxos logísticos de exportação englobam transporte, armazenagem e distribuição, impactando diretamente os custos das atividades produtivas. A eficiência na gestão desses fluxos reduz desperdícios, otimiza recursos e melhora a competitividade no mercado global. Competências como consolidação de cargas e escolha de modais adequados são relevantes para minimizar custos e maximizar a eficiência. Diante dessa argumentação, a presente pesquisa teve como objetivo, analisar e simular os fluxos logísticos no setor de exportações, utilizando o Software Arena, com o foco de identificar gargalos e propor melhorias que resultem na redução de custos por atividade produtiva nacional, otimizando o tempo de operação e aumentando a eficiência dos processos logísticos. Para efetuar tal objetivo, o método utilizado foi de natureza quantitativa, com procedimentos dados secundários e simulação no Software Arena para modelar os fluxos logísticos no setor de exportação, identificando gargalos e ineficiências. Ademais, foi realizado uma análise estatística dos tempos operacionais e a aplicação da teoria de filas para avaliar a performance das etapas logísticas. Ao longo dos estudos, considera-se os principais gargalos logísticos no setor de exportações estão no armazenamento e transporte interno, impactando a eficiência operacional. A simulação no Software Arena mensurou a necessidade de modernização da infraestrutura e adoção de sistemas automatizados para reduzir custos e tempos de operação. Assim, a otimização dos fluxos logísticos pode aumentar a competitividade nacional, reforçando a importância de estudos contínuos na área.

Palavras-chave: Eficiência operacional; Gestão de armazéns; Teoria de filas; Modelagem computacional

ABSTRACT:

Export logistics flows encompass transportation, storage and distribution, directly impacting the costs of production activities. Efficient management of these flows reduces waste, optimizes resources and improves competitiveness in the global market. Skills such as cargo consolidation and selection of appropriate modes are relevant to minimize costs and maximize efficiency. Given this argument, this research aimed to analyze and simulate logistics flows in the export sector, using Arena Software, with a focus on identifying bottlenecks and proposing improvements that result in cost reduction per national production activity, optimizing operating time and increasing the efficiency of logistics processes. To achieve this objective, the method used was quantitative in nature, with secondary data procedures and simulation in Arena Software to model logistics flows in the export sector, identifying bottlenecks and inefficiencies. In addition, a statistical analysis of operating times and the application of queueing theory were performed to evaluate the performance of the logistics stages. Throughout the studies, the main logistical bottlenecks in the export sector are considered to be in storage and internal transportation, impacting operational efficiency. The simulation in Arena Software measured the need to modernize infrastructure and adopt automated systems to reduce costs and operating times. Thus, the optimization of logistics flows can increase national competitiveness, reinforcing the importance of continuous studies in the area.

Keywords: Operational efficiency; Warehouse management; Queueing theory; Computational modelling

¹ Mestra em Economia e Desenvolvimento pela Universidade Federal de Santa Maria; Candidata a Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.

flaviamlazzaretti@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-9828-6912>

INTRODUÇÃO

O comércio internacional é um dos principais atuantes que influenciam a competitividade internacional. Conseqüentemente, várias nações estão se concentrando na “facilitação do comércio” para a ascensão econômica por meio do aumento do comércio internacional (MIN-JU e LI, 2022). Isso ocorre em detrimento da competitividade internacional que depende da capacidade de gerenciar a logística no ambiente de negócios global nos dias atuais [...] “as sociedades prosperam pelas necessidades locais e pelo transporte externo” (LIST, 1983, p. 59).

A logística se tornou um elemento-chave do comércio internacional à medida que a importância da competitividade internacional cresce devido à globalização, e o serviço eficiente dessa logística garante fluxos comerciais dentro da cadeia de suprimentos global e a redução dos custos logísticos entre os países (CHEUNG et al., 2020). De modo análogo, a globalização aumenta a importância dos serviços de logística não somente propagando as redes de comércio e produção entre os países, mas também agregando capacidades nacionais de produção (MIN et al., 2019).

Os investigadores científicos Liu et al. (2018), delimitam que a logística é o processo de maximizar a gestão, como aquisição, movimentação de bens e estoque por meio da organização e

da cadeia de suprimentos. A logística se tornou a espinha dorsal da economia global e é impulsionada pela produção e consumo, é considerada um fator importante para o desenvolvimento sustentável porque está correlacionada a atividades produtivas. O artífice literário List (2006) consolida que “cidades e estados elevam-se, mutuamente, à prosperidade[...]”. Ao mesmo tempo, que os “transportes não só estimulam a navegação, mas também proporcionam ocasião e oportunidade para estabelecer prometedoras ligações comerciais, para a apresentação de novas indústrias, procedimentos e plantas e para conhecer novos gostos” (p.118).

No que emerge, a nação brasileira, especificamente nos fluxos logísticos de exportação, há um complexo sistema de infraestrutura que envolve portos, ferrovias, rodovias e hidrovias (Figura 1), necessária para a competitividade do país no comércio internacional. O aprimoramento desses meios é importante para diminuir custos operacionais e aumentar a eficiência no escoamento de produtos como grãos, minérios e commodities agrícolas (BRASIL, 2023; SOLIANI, 2022).

Figura 1 - Distribuição logística de exportação brasileira



Fonte: Adaptado de Soliani (2022)

Conforme a ilustração aludida, o transporte para as atividades produtivas (indústria de transformação, agropecuária, indústria extrativa e outros produtos) percorre até os portos ocorre por modais rodoviário, ferroviário e hidroviário, sendo os dois últimos mais eficientes em longas distâncias devido à maior capacidade de carga e menores custos operacionais, em particular nas rotas de exportação. O modal rodoviário, apesar menos eficiente para cargas a granel em trajetos extensos em decorrência da menor capacidade por veículo e maior custo, evidencia vantagens competitivas em curtas distâncias, sendo necessário quando a origem e o destino da carga estão próximos (BRASIL, 2023; SOLIANI, 2022).

Outrossim, a logística de exportação brasileira seja atuante e significativa na balança comercial, de acordo com os pesquisadores (SOLIANI, 2022; PEREIRA e FELIPE JUNIOR, 2021; KEMITARE et al., 2021; FLIEHR et al., 2019), enfrenta desafios

estruturais que influenciam diretamente a performance do setor produtivo e a inserção do país no mercado global. A inadequação da infraestrutura de transporte, em especial no que se refere à deficiência de rodovias e ferrovias, resulta em custos logísticos elevados e limita a eficiência do processo de escoamento de mercadorias. Ademais, a complexidade e a rigidez dos procedimentos aduaneiros ocasionam em elevados custos operacionais e aumento do tempo de trânsito, o que compromete a inserção dos produtos brasileiros nos mercados globais (OLYANGA et al., 2022; KEMITARE et al., 2021, FLIEHR et al., 2019).

Em face de tal hiato norteador, a presente pesquisa tem como objetivo analisar e simular os fluxos logísticos no setor de exportações, utilizando o Software Arena, com o foco de identificar gargalos e propor melhorias que resultem na redução de custos por atividade produtiva nacional, otimizando o tempo de operação e aumentando a eficiência dos processos logísticos.

METODOLOGIA

Trata-se de um estudo quantitativo e descritivo, com o foco em analisar e simular os fluxos logísticos no setor de exportações, visando identificar oportunidades de redução de custos por atividade produtiva. A abordagem quantitativa implementada permite mensurar variáveis operacionais

e avaliar o comportamento dos tempos logísticos nas distintas atividades produtivas, isto é, indústria de transformação, agropecuária, indústria extrativa e outros produtos. Às vistas os dados secundários, procedimento da pesquisa, foram obtidos a partir de bases públicas e institucionais relacionadas ao comércio exterior, operações aduaneiras e transportes, complementados por informações disponibilizadas em relatórios setoriais e bases governamentais.

Os dados secundários utilizados nesta pesquisa foram coletados de fontes confiáveis e amplamente reconhecidas no setor logístico e de exportações, incluindo plataformas oficiais como o Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e Receita Federal. Essas bases divulgaram informações referentes ao tempo logístico decorrido entre o desembarço aduaneiro e o embarque das mercadorias, contemplando três modais de transporte: aéreo, marítimo e terrestre. O período de coleta consistiu em um único ano base, dois mil e vinte três, a fim de garantir a representatividade e a atualidade das informações analisadas.

Após a coleta, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos a um processo de limpeza para eliminar inconsistências, valores ausentes e outliers que pudessem comprometer a análise, foi realizada a simulação dos fluxos logísticos utilizando o Software Arena v.11, versão gratuita para estudante, ferramenta reconheci-

da por sua capacidade de modelar processos complexos e estocásticos.

O software de simulação Arena, desenvolvido pela empresa America Systems Modeling em 1993, resulta da integração dos softwares SIMAN e CINEMA, consolidando-se como um ambiente gráfico integrado para simulação de processos, com recursos avançados para análise estatística, modelagem de fluxos, animação e avaliação de resultados (AUGUSTI et al., 2022). Viabiliza na construção de modelos computacionais capazes de monitorar o fluxo de processos simulados, proporcionando uma análise detalhada do desempenho do sistema (MITROVIĆ et al., 2021).

Em sua aplicabilidade, o software Arena tem sua representatividade pela flexibilidade na análise de sistemas complexos, como cadeias de suprimentos e sistemas de manufatura, permitindo a visualização por fluxogramas, a estimativa de desempenho com base na capacidade de recursos, custos e tempo de ciclo, além da identificação de gargalos operacionais (TEILANS et al., 2008). Considerado uma das ferramentas mais difundidas para a simulação de eventos discretos. Organizações como a NASA e exército Americano e algumas das principais empresas da Forbes 500 são demandantes do Arena (PARAGON, 2021).

A simulação, perante ao software supracitado, contemplou dez atividades produtivas pertencentes às cadeias da Indústria de Transformação e

da Agropecuária, totalizando 30 observações distribuídas entre os três modais. Para a análise estatística, foram utilizados métodos descritivos e inferenciais. Inicialmente, foi calculado o sumário estatístico, incluindo média, desvio padrão, valores mínimo e máximo.

Consecutivamente, foram realizados testes de aderência — Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov (K-S) — para verificar a distribuição dos dados, sendo identificada a distribuição exponencial como a mais adequada para modelar os tempos logísticos. A validação do modelo foi baseada nos p-values obtidos nos testes, considerando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Adicionalmente, foi elaborado um histograma para visualizar a distribuição dos tempos e facilitar a interpretação dos resultados.

Vale pontuar que, assim como Qui-quadrado, o teste de Kolmogorov-Smirnov é utilizado para verificar se um conjunto de dados segue a distribuição Normal, premissa necessária para a aplicação de diversos métodos estatísticos inferenciais. O teste calcula o valor-p, que indica o grau de conformidade entre os dados e a hipótese nula (H_0), que assume a normalidade dos dados (LEOTTI, 2005; ÖZTUNA et al., 2006; LOPES, 2013).

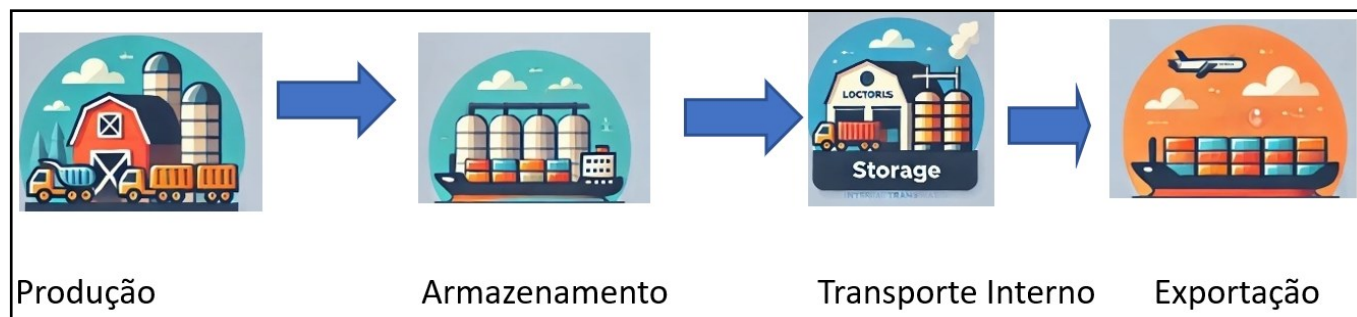
O referido teste tem como foco a maior diferença entre duas distribuições. A Equação (1) mensura as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e esperadas.

$$D = \sup * |F_{o(x)} - F_{e(x)}| \quad (1)$$

Sendo que $F_{o(x)}$ é a frequência observada acumulada para cada classe, $F_{e(x)}$ é a frequência estimada acumulada para cada classe e D sendo ponto de maior divergência é o valor D de Kolmogorov-Smirnov, o menor D entre distribuições, sinalizará o melhor ajuste. Assim, aderência das distribuições de probabilidade aos dados foi analisada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, com o objetivo de verificar a adequação das distribuições de probabilidade a cada um dos conjuntos de dados de entrada.

Ademais, o software irá apresentar reproduzir a Teoria das Filas é uma ferramenta que otimiza a eficiência do fluxo logístico no transporte de exportação, permitindo a identificação de um ponto de equilíbrio entre a eficiência operacional e a viabilidade econômica dos agentes envolvidos. Nesse panorama, os conceitos de filas aplicam-se amplamente a diferentes elementos do sistema logístico, incluindo veículos aguardando carregamento ou liberação em portos, produtos armazenados antes do embarque e até mesmo a gestão de embarques em modais de transporte. A aplicação dessa teoria viabiliza a redução de tempos de espera, mitigação de congestionamentos e aprimoramento da capacidade de escoamento da produção destinada à exportação.

Figura 2 - Teoria das Filas do fluxo de exportação brasileira



Fonte: Autora (2025)

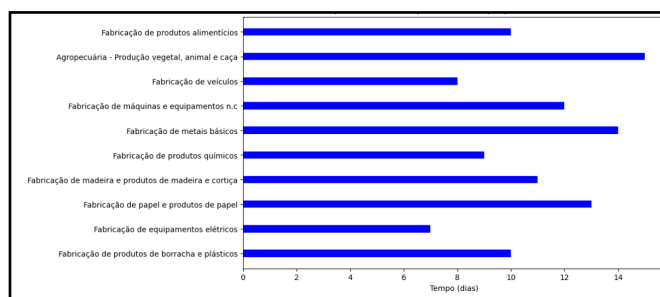
Legenda: Elaborada através do *Python v.3.13.2*.

Na Figura 2 figura, observa-se fluxo logístico de exportação na aplicabilidade da Teoria das Filas, na qual cada etapa do processo – Produção, Armazenamento, Transporte Interno e Exportação – pode ser modelada como um sistema de espera e atendimento. A produção atua como a origem da carga, gerando um fluxo variável de mercadorias que entram no sistema. O armazenamento funciona como um *buffer*, regulando a oferta e evitando sobrecarga nos modais de transporte. O transporte interno representa uma fase de escoamento com capacidade limitada, sujeita a restrições como infraestrutura e disponibilidade de veículos. Por fim, a exportação constitui a fase final, onde a carga aguarda embarque em navios, frequentemente formando filas devido à demanda concentrada e à capacidade restrita dos portos. A aplicação da Teoria das Filas permite otimizar esse processo, reduzindo gargalos e aumentando a eficiência operacional, e será ilustrada pelo software Arena v. 11.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo os pressupostos da seção anterior, a simulação, efetuada com o auxílio do Software Arena, contemplou o tempo decorrido do desembarço até o embarque para três modais de transporte — aéreo, marítimo e terrestre — em dez diferentes atividades produtivas pertencentes às cadeias da Indústria de Transformação e da Agropecuária (Figura 3).

Figura 3 – Atividades produtivas



Fonte: Autora (2025)

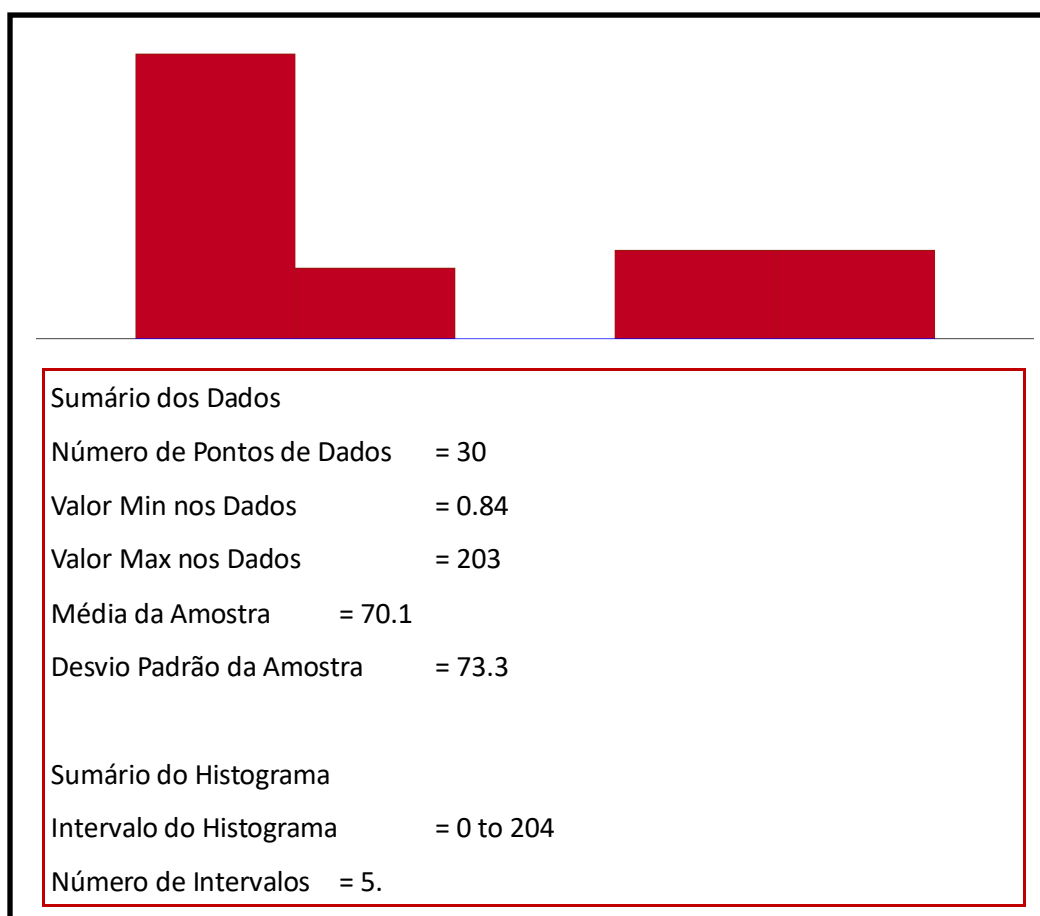
Legenda: Elaborada a partir do *Python v.3.13.2*.

A análise dos dados buscou identificar gargalos logísticos, apontar ineficiências operacionais e propor estratégias de otimização que contribuam para a competitividade das exportações brasileiras. Conforme elucidado na Figura 4, os resultados pontuaram um valor mínimo de 0,84 horas e um máximo de 203,14 horas, com uma média de 70,1 horas e um desvio padrão de 73,3 horas. Essa expressiva oscilação marca uma alta heterogeneidade nos processos logísticos entre os modais analisados.

A distribuição dos dados evidenciou uma assimetria positiva, caracterizada por uma concentração de valores entre 0 e 50 horas e uma cauda estendida até mais de 200 horas, influenciada principalmente pelo modal aéreo. Essa dispersão dos dados ressalta a necessidade de ações específicas para cada modal, uma vez que suas particularidades impactam diretamente os prazos e custos envolvidos na exportação.

Em observância, o modal aéreo, que convencionalmente é associado a prazos mais curtos,

Figura 4 - Análise dos pontos de dados do Arena v.11



Fonte: Autora (2025)

Legenda: Elaborada a partir do Arena v.11.

apresentou resultados contrários às expectativas. Os tempos registrados oscilaram entre 155,24 e 184,80 horas, evidenciando atrasos significativos em setores como a fabricação de produtos químicos e metais básicos. Esses valores elevados podem ser atribuídos a processos burocráticos no desembarço aduaneiro, falhas de coordenação logística e limitações operacionais nos terminais aéreos. Essa ineficiência gera não apenas custos operacionais adicionais, mas também prejuízos relacionados à perda de competitividade no mercado internacional, especialmente para produtos de alto valor agregado e demanda urgente.

Em contraposição, o modal marítimo apresentou tempos intermediários, com valores entre 37,93 e 47,36 horas e menor variabilidade entre os setores. A consistência dos dados nesse modal sugere um melhor planejamento logístico e maior previsibilidade das operações, especialmente em atividades relacionadas à agropecuária e à fabricação de papel. Todavia, apesar da estabilidade observada, existem oportunidades de otimização que podem reduzir ainda mais os prazos, como a implementação de tecnologias para rastreamento de cargas e a melhoria na comunicação entre os agentes envolvidos na cadeia logística.

O modal terrestre, por sua vez, destacou-se pelo melhor desempenho entre os três analisados. Os tempos registrados variaram de 0,84 a 18,26 horas, com baixa dispersão e evidência de proces-

so logísticos bem estruturados, principalmente nos setores de produtos alimentícios e de borracha. Essa agilidade pode ser atribuída à proximidade dos centros de produção aos pontos de embarque e ao menor grau de complexidade nos trâmites operacionais. Contudo, apesar do bom desempenho, existem setores que ainda podem se beneficiar de ajustes, como a otimização de rotas e a redução do tempo de espera em terminais.

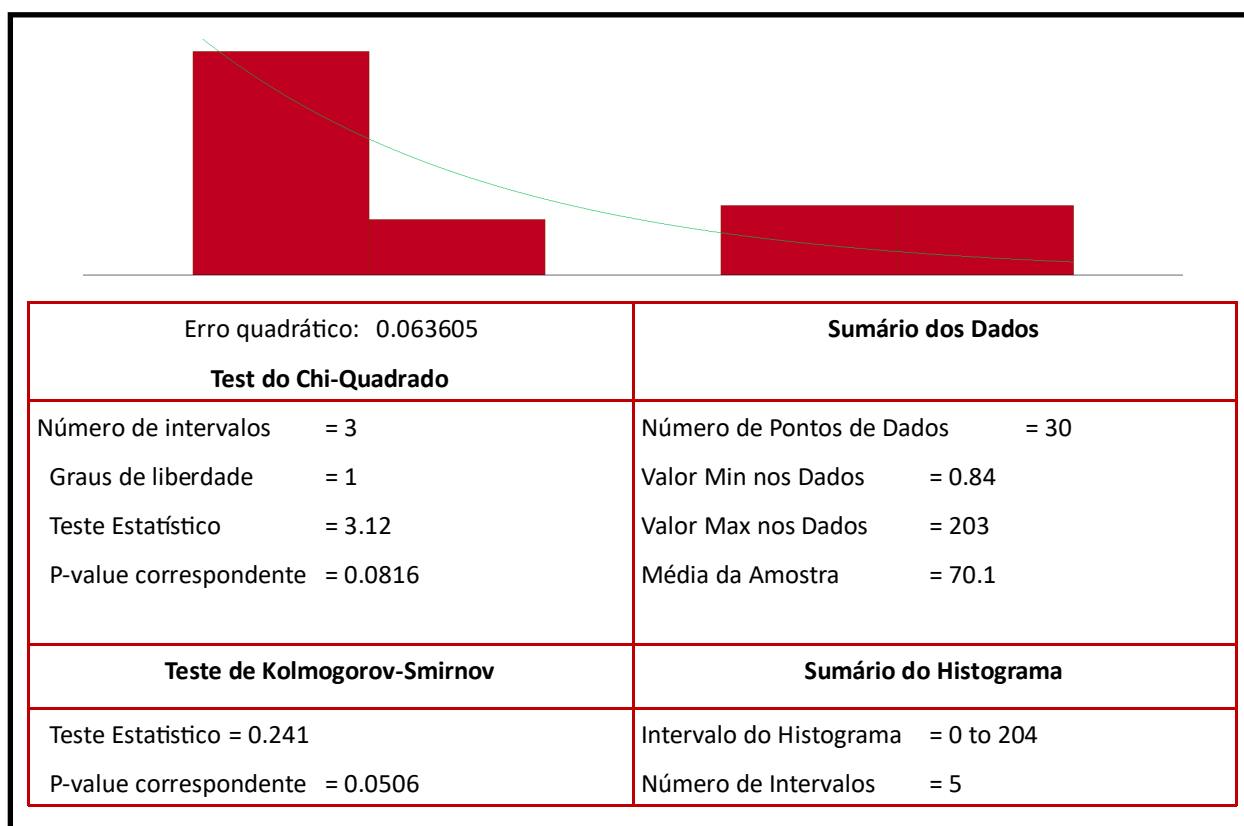
À luz dos resultados iniciais, percebe-se que a cadeia logística das exportações brasileiras apresenta pontos críticos que comprometem a eficiência dos fluxos e, conseqüentemente, elevam os custos operacionais. O modal aéreo, em especial, exige intervenções prioritárias, uma vez que seus elevados tempos logísticos contrariam sua principal vantagem competitiva: a rapidez. Investimentos em infraestrutura, revisão dos procedimentos alfandegários e integração dos sistemas de informação entre os diversos agentes logísticos podem ser estratégias eficazes para mitigar essas ineficiências. O modal marítimo, embora mais equilibrado, pode se beneficiar de melhorias no planejamento das janelas de atracação e na digitalização dos processos documentais. Já o modal terrestre, mesmo apresentando bons indicadores, não deve ser negligenciado, pois ganhos marginais podem se traduzir em importantes vantagens competitivas.

Em linhas gerais, a simulação realizada com o Software Arena v.11, proporcionou uma visão

abrangente e detalhada dos fluxos logísticos no setor de exportações, permitindo a identificação de gargalos e a proposição de soluções práticas para a redução de custos por atividade produtiva. A adoção das medidas sugeridas pode gerar benefícios significativos em termos de tempo e custo, além de fortalecer a posição das empresas brasileiras no cenário internacional. A continuidade desse tipo de análise, aliada a investimentos em tecnologia e capacitação, é fundamental para que a cadeia exportadora se torne mais eficiente e resiliente diante dos desafios do comércio global.

De forma subsequente, perante ao dados coletados, foram aplicados testes estatísticos para verificar o ajuste dos dados a uma distribuição teórica. O modelo identificado como o mais adequado foi a distribuição exponencial com parâmetro λ associado a uma média de 70,1 horas, expressa pela função EXPO (70.1). Essa distribuição é comumente utilizada para modelar tempos entre eventos em processos estocásticos, sendo apropriada em cenários que envolvem a ocorrência de atrasos e tempos de espera, como é o caso da cadeia logística (Figura 5).

Figura 5 - Análise dos testes de distribuição exponencial



Fonte: Autora (2025)

Legenda: Elaborada a partir do Arena v.11.

O erro quadrático obtido foi de 0,063605, indicando um ajuste relativamente bom do modelo à amostra analisada. Valores mais próximos de zero são desejáveis, pois sugerem que as diferenças entre os valores observados e os estimados pela distribuição são mínimas. Nesse contexto, o erro registrado reforça a adequação da distribuição exponencial para descrever a variabilidade dos tempos logísticos simulados.

Para validar a hipótese de aderência da distribuição teórica aos dados empíricos, foram aplicados dois testes de aderência: o teste do Qui-Quadrado e o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). O teste do Qui-Quadrado, com 3 intervalos e 1 grau de liberdade, resultou em um valor estatístico de 3,12 e um *p-value* de 0,0816. Considerando o nível de significância convencional de 5% ($\alpha = 0,05$), o *p-value* encontrado é superior ao limite crítico, o que indica que não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os dados seguem uma distribuição exponencial. Isso sugere que as variações observadas no tempo logístico podem ser modeladas adequadamente por essa distribuição.

De forma complementar, o teste de Kolmogorov-Smirnov, mais sensível a discrepâncias na cauda da distribuição, apresentou um valor estatístico de 0,241 e um *p-value* de 0,0506. Esse valor, ligeiramente acima do limiar de 5%, corrobora o resultado do teste do Qui-Quadrado, indicando

uma aderência marginalmente aceitável da distribuição exponencial aos dados observados. A proximidade do *p-value* ao valor crítico sugere, no entanto, que pequenas variações ou outliers na amostra podem influenciar a precisão do modelo, sendo prudente considerar essa limitação ao interpretar os resultados.

O sumário descritivo dos dados sustenta a compreensão da dispersão e tendência central: com 30 pontos de dados, o tempo mínimo registrado foi de 0,84 horas e o máximo de 203 horas, revelando uma ampla variabilidade no processo logístico. A média da amostra, de 70,1 horas, está alinhada com o parâmetro da distribuição exponencial ajustada, enquanto o desvio padrão de 73,3 horas evidencia a alta dispersão e a assimetria positiva da distribuição, característica típica de processos com ocorrência de atrasos extremos.

O histograma dos dados, construído com 5 intervalos no intervalo de 0 a 204 horas, demonstra uma concentração elevada de observações nos primeiros intervalos, com uma cauda prolongada que se estende até os valores máximos. Essa configuração gráfica é compatível com o comportamento de uma distribuição exponencial, na qual a probabilidade de ocorrência de eventos diminui exponencialmente à medida que o tempo aumenta. Tal padrão é comum em operações logísticas sujeitas a variabilidades operacionais e burocráticas, especi-

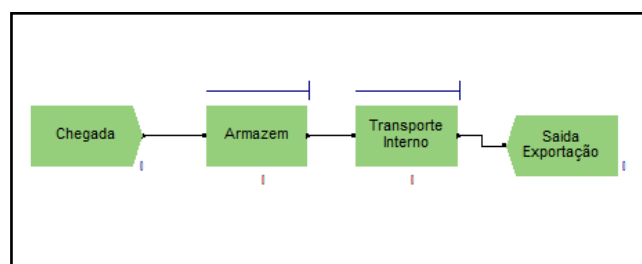
almente em setores que envolvem processos aduaneiros e múltiplas etapas de verificação.

Em termos práticos, a identificação da distribuição exponencial como modelo representativo dos tempos logísticos possui implicações gerenciais relevantes. A natureza dessa distribuição implica que a maioria dos embarques ocorre em tempos reduzidos, enquanto uma minoria significativa experimenta atrasos substanciais. Esse comportamento evidencia a necessidade de intervenções direcionadas para os casos extremos, que, embora menos frequentes, contribuem de forma desproporcional para o aumento dos custos e para a perda de competitividade. Estratégias como a automação de processos, a melhoria na comunicação entre os elos da cadeia e a priorização de cargas críticas podem ser eficazes para mitigar esses atrasos prolongados.

Em suma, os resultados obtidos indicam que a distribuição exponencial é um modelo estatístico adequado para descrever os tempos logísticos simulados no setor de exportações. A aderência aos testes de hipótese, ainda que marginal no caso do Kolmogorov-Smirnov, reforça a validade do modelo para análises preditivas e de tomada de decisão. Recomenda-se, entretanto, a realização de estudos complementares com amostras ampliadas e a consideração de outras distribuições para validar a robustez das conclusões e aprimorar as estratégias de otimização logística.

Por conseguinte, mensura-se a aplicabilidade da teoria das filas, Figura 6, evidencia-se que análise do histograma revelou uma assimetria nos tempos logísticos, com predominância de tempos mais curtos e a ocorrência de valores extremos que indicam eventuais gargalos ou ineficiências em alguns processos. A média elevada do desvio padrão (73,3) reforça essa variação nos tempos, pausando a necessidade de estratégias de mitigação para reduzir a dispersão e aumentar a previsibilidade do fluxo logístico.

Figura 6 – Teoria de Filas



Fonte: Autora (2025)

Legenda: Elaborada a partir do Arena v.11.

A simulação do modelo logístico explicitou que o armazenamento e o transporte interno são os pontos críticos do sistema, sendo responsáveis pela maior variabilidade nos tempos totais. O tempo médio elevado e a variabilidade no armazenamento pontuam a necessidade de otimização dos processos de entrada e saída de cargas, possivelmente por meio da adoção de tecnologias como sistemas de gestão de armazéns (WMS) e estraté-

gias de cross-docking para minimizar o tempo de permanência das mercadorias.

O transporte interno também apresentou impacto significativo na performance do fluxo logístico, o que pode estar interligado à disponibilidade de veículos, à eficiência operacional da movimentação de cargas e à sincronização com as demais etapas do processo. Estratégias como a priorização dinâmica de transporte e a otimização do sequenciamento de cargas poderiam mitigar tais ineficiências.

Por fim, a saída para exportação mostrou menor impacto na variabilidade do tempo total, sugerindo que, uma vez superados os desafios do armazenamento e transporte interno, a fluidez do processo tende a ser mantida até o embarque. No entanto, potenciais atrasos alfandegários e restrições operacionais nos terminais de exportação podem representar fatores de risco para o cumprimento dos prazos logísticos.

Dessa forma, os resultados obtidos oferecem um panorama detalhado das dinâmicas do fluxo logístico no setor de exportação, permitindo a identificação de pontos críticos e a proposição de medidas estratégicas para redução de custos e otimização dos tempos operacionais. A aplicação de modelos preditivos e o aprimoramento da gestão logística são caminhos promissores para aumentar a eficiência e a competitividade no mercado internacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos dados obtidos, analisar e simular os fluxos logísticos no setor de exportações, utilizando o Software Arena, com o foco de identificar gargalos e propor melhorias que resultem na redução de custos por atividade produtiva nacional, otimizando o tempo de operação e aumentando a eficiência dos processos logísticos foi de suma importância. A modelagem refletiu em uma avaliação detalhada das etapas envolvidas no fluxo de exportação, destacando os pontos críticos que impactam diretamente na competitividade das cadeias produtivas.

Constatou-se nos desfechos que a etapa de armazenamento e o transporte interno são os principais responsáveis pelas ineficiências do sistema logístico, apresentando elevada variabilidade nos tempos operacionais. A identificação desses gargalos demonstra a necessidade de intervenções estratégicas, como a modernização da infraestrutura logística, a adoção de sistemas automatizados de gestão e a implementação de metodologias mais ágeis na movimentação e alocação das cargas. Essas melhorias podem contribuir significativamente para a redução do tempo médio de operação e para a mitigação da dispersão dos tempos logísticos.

A simulação também elucidou que, apesar da saída para exportação seja menos determinante

para a variabilidade geral, fatores externos — como atrasos alfandegários e restrições nos terminais de embarque — demandam maior integração entre agentes logísticos e autoridades reguladoras. O aprimoramento dessa articulação, correlacionado ao uso de modelos preditivos, pode elevar a previsibilidade e a fluidez do processo, contribuindo para a integração regional e para o fortalecimento das cadeias globais de valor.

Em face de tais considerações, conclui-se, destarte, que a aplicabilidade da simulação de eventos discretos na logística de exportação constitui uma ferramenta estratégica não somente para a gestão empresarial, mas também para a formulação de políticas públicas designadas à competitividade e integração regional. Ao subsidiar decisões baseadas em impactos práticos, esse tipo de análise pode mensurar investimentos em infraestrutura, incentivar práticas de cooperação entre setores e reduzir assimetrias regionais. Recomenda-se, por fim, estudos prospectivos que ampliem as variáveis analisadas e aprimorem os modelos de simulação, de modo a capturar de forma mais abrangente as complexidades e interdependências do sistema logístico nacional.

REFERÊNCIAS

AUGUSTI, N. C.; EMBALDE, I. L. P.; MENDES, O. L. Projeto de melhoria do atendimento, produção e distribuição de uma lanchonete utilizando o software de simulação arena. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 1, p. 477-488, 2022.

BRASIL. **Time Release Study Exportação**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/aduana-e-comercio-exterior/time-release-study-trs>. Acesso: 12 mar 2025.

CHEUNG, K. F. et al. An eigenvector centrality analysis of world container shipping network connectivity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 140, p. 101991, 2020.

FLIEHR, O.; ZIMMER, Y.; SMITH, L. H. Impacts of transportation and logistics on Brazilian soybean prices and exports. **Transportation Journal**, v. 58, n. 1, p. 65-77, 2019.

LEOTTI, V. B.; BIRCK, A. R.; RIBOLDI, J. Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises e Shapiro-Wilk por Simulação. **Anais... 11º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica**, 2005. Disponível em: https://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Testes_de_Hipoteses/Testes_aderencia.pdf. Acesso em: 16 mar. 2025.

- LOPES, M. M.; CASTELO BRANCO, V. T. F.; SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**, São Paulo-SP, v. 21, n. 1, p. 59–66, 2013.
- LIU, J. et al. The relationship between environment and logistics performance: Evidence from Asian countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 282-291, 2018.
- LIST, G. F. **Sistema Nacional de Economia Política**. Tradução: BARAÚNA, L. 2ª ed. Abril Cultural, São Paulo, 1983.
- LIST, G. F. **Sistema Nacional de Economia Política**. Tradução: BARAÚNA, L. Nova Cultural, São Paulo, 2006.
- KEMITARE, G. et al. Value chain, productivity and trade performance in the dairy industry. **Modern Supply Chain Research and Applications**, v. 3, n. 1, p. 24-40, 2021.
- MIN, S.; ZACHARIA, Z. G.; SMITH, C. D. Defining supply chain management: In the past, present, and future. **Journal of Business Logistics**, v. 40, n. 1, p. 44-55, 2019.
- MITROVIĆ, M.; POPOVIĆ, D.; VIDOVIĆ, M.; RADIVOJEVIĆ, G. Order level optimization in inventory management using Arena simulation model. **International Journal for Traffic and Transport Engineering**, v. 11, n. 2, p. 257-266, 2021.
- ÖZTUNA, D.; ELHAN, A. H.; TÜCCAR, E. Investigation of four different normality tests in terms of type 1 error rate and power under different distributions. **Turkish Journal of Medical Sciences**, v. 36, n. 3, p. 171-176, 2006.
- OLYANGA, A. M. et al. Export logistics infrastructure and export competitiveness in the East African Community. **Modern Supply Chain Research and Applications**, v. 4, n. 1, p. 39-61, 2022.
- PARAGON. **Arena**, 2021. Disponível em: <https://www.paragon.com.br/%20softwares/arena/>. Acesso em: 20 fev. 2025, 14h45.
- PEREIRA, R. S.; FELIPE JUNIOR, N. F. O setor portuário do estado de Sergipe: Logística, fluxos de cargas e dificuldades de modernização. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 10, n. 22, p. 91-114, 2021.

SOLIANI, R. D. Logistics and transportation in Brazilian agribusiness: The flow of grain production. **Journal of Economics, Business and Management**, v. 10, n. 3, p. 210-219, 2022.

SONG, M. J.; LEE, H. Y. The relationship between international trade and logistics performance: A focus on the South Korean industrial sector. **Research in Transportation Business & Management**, v. 44, p. 100786, 2022.

TEILANS, A. et al. Design de modelos UML e sua simulação usando ARENA. **WSEAS Transactions on Computer Research**, v. 3, n. 1, p. 67-73, 2008.