

# Aplicação de Modelos de Simulação para Melhoria da Eficiência Operacional no Porto de Santos

Henrique Paranhos Cordeiro Gusmão  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Teófilo Otoni, Minas Gerais  
henrique.paranhos@ufvjm.edu.br

Jaqueline Maria da Silva  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Teófilo Otoni, Minas Gerais  
jaqueline.silva@ufvjm.edu.br

**Abstract**— The study explores the use of computer simulation tools to analyze and propose possible improvements in operational efficiency in Santos port terminals. The objective is to model real and hypothetical processes and situations of these terminals using the Arena software, developed by Paragon. The research carries out simulations of different operational scenarios, with road and rail being presented in this work, identifying possible bottlenecks and opportunities for optimization with regard to the arrival of cargo by road and rail in the region. Initial results show the potential of simulations to assist in the analysis of operational problems, contributing to strategic decision-making.

**Keywords**— Simulation, Operational Efficiency, Port Terminals.

**Resumo**— Este trabalho explora a utilização de ferramentas de simulação computacional para analisar e propor possíveis melhorias na eficiência operacional nos terminais portuários de Santos. O objetivo é modelar processos e situações reais e hipotéticas destes terminais utilizando o software Arena, desenvolvido pela Paragon. A pesquisa realiza simulações de diferentes cenários operacionais, sendo o rodoviário e o ferroviário apresentados neste trabalho, identificando possíveis gargalos e oportunidades de otimização no que diz respeito a chegada de cargas por via rodoviária e ferroviária na região. Os resultados iniciais mostram o potencial das simulações em auxiliar na análise de problemas operacionais, contribuindo para tomada de decisões estratégicas.

**Palavras-chave**— Simulação; Eficiência Operacional; Terminais Portuários.

## I. INTRODUÇÃO

A eficiência operacional dos terminais portuários é essencial para o desenvolvimento econômico e para a competitividade de um país no cenário global. Como maior complexo portuário da América Latina, o Porto de Santos desempenha um papel central na cadeia logística brasileira, movimentando uma parcela significativa das importações e exportações nacionais. No entanto, segundo [9], o Porto de Santos enfrenta atualmente desafios críticos

Os congestionamentos nos terminais portuários, como o de Santos, são consequência do elevado volume de cargas e da complexidade das operações, que frequentemente sobrecarregam a infraestrutura. Os altos custos operacionais, por sua vez, são impulsionados pelos atrasos nos processos, que exigem mais recursos e tempo para serem concluídos.

Diante desse cenário, este trabalho visa utilizar ferramentas de simulação computacional, especificamente o software Arena, para identificar e mitigar os principais gargalos operacionais nos terminais portuários de Santos. A simulação permite modelar processos reais e testar cenários alternativos, contribuindo para a otimização de recursos, redução de custos e aumento da eficiência operacional. Esta pesquisa busca também abordar a necessidade de modernizar a gestão portuária no Brasil, que ainda enfrenta limitações estruturais e operacionais.

O Porto de Santos movimentou uma variedade de cargas, incluindo grãos sólidos como a soja, cuja exportação superou 25 milhões de toneladas em 2023 [5]. A relevância deste estudo reside na análise do fluxo de grãos sólidos, destacando a importância da simulação como ferramenta de planejamento e otimização em terminais portuários.

Estudos anteriores, como os de [2], apontam que a simulação de processos portuários pode ser uma solução eficaz para lidar com congestionamentos e atrasos, permitindo uma análise prévia do impacto de diferentes estratégias operacionais. No entanto, há uma lacuna na aplicação dessas metodologias no Brasil. Com a utilização do Arena, é possível criar modelos detalhados que identificam e ajudam a otimizar gargalos no fluxo portuário, fornecendo uma base sólida para decisões estratégicas.

## II. METODOLOGIA E RESULTADOS

A necessidade de melhorar a eficiência dos terminais portuários é uma exigência estratégica, considerando que a sociedade está cada vez mais globalizada e competitiva. A gestão eficiente dos processos e dos portos de forma geral é essencial para que um país mantenha relevância no comércio internacional, onde a velocidade e a confiabilidade das operações são diferenciais cruciais. Como destacado por [1] a simulação de processos operacionais é uma ferramenta valiosa para enfrentar desafios nesse ambiente dinâmico. Além disso, a simulação computacional cresce em diversos campos, disponibilizando detecção de gargalos e soluções, proporcionando agilidade no entendimento de cenários. No Arena, é possível avaliar cenários reais e hipotéticos, observando impactos sem afetar operações reais, já que modela, simula e gera resultados numéricos e gráficos.

A revisão da literatura confirma a relevância da simulação computacional como metodologia de análise e otimização de operações portuárias. De acordo com [5], o uso de simulações pode apresentar melhorias na operação dos cais, além de minimizar custos operacionais e maximizar o uso eficiente dos recursos. Resultados são particularmente relevantes para o Porto de Santos, onde a complexidade das operações e o grande volume de carga movimentada resultam em gargalos que comprometem a eficiência do terminal. A flexibilidade do Arena em integrar variáveis probabilísticas e matemáticas complexas o torna adequado para análise detalhada das operações portuárias, permitindo previsões precisas e melhorias fundamentadas.

O argumento central deste trabalho é que a simulação computacional, como realizada pelo Arena, permite aos gestores portuários identificarem gargalos operacionais, principalmente no que diz respeito aos tempos de espera, utilização de recursos dos terminais e taxas de operações e com isso, propor soluções de forma eficaz. Ao modelar processos como carga, descarga e movimentação de mercadorias, o Arena fornece insights valiosos sobre como otimizar a alocação de recursos e melhorar o fluxo de entrada e saída de cargas. Por exemplo, ao simular a redistribuição dos recursos e otimizar o uso dos berços, os terminais podem aumentar sua capacidade sem grandes investimentos em infraestrutura, que são frequentemente inviáveis devido às limitações de espaço e custo.

Este estudo aborda uma visão sistêmica dos processos, em especial, os que trabalham com a importação e exportação de grãos sólidos, como a soja. Segundo a SPA, administradora do Porto de Santos, em julho de 2023 foram movimentadas 15,3 milhões de toneladas de mercadorias, e 2,1 milhões de toneladas de soja, com um acumulado de 26,7 para o ano. Em 2023, o número de movimentação de soja no Porto de Santos é equivalente a 26% dos embarques totais de soja no Brasil. Comparado à movimentação de grãos, a soja corresponde a 31% da carga total.

A previsão para 2024 é que esses números sejam ultrapassados, considerando que já foram movimentadas 26,3 milhões de toneladas até agosto. Outros grãos também se destacam, como o açúcar, com 10,3 milhões de toneladas movimentadas. O Porto de Santos é responsável por no mínimo 25% do comércio exterior brasileiro, segundo a própria Santos Port Authority.

As cargas chegam aos terminais por modais rodoviário e ferroviário. No sistema rodoviário, está o Sistema Anchieta-Imigrantes (SAI), administrado pela Ecovias. Já no modal ferroviário, o acesso é feito por três sistemas: o Sistema Ferroviário da Rumo, o Corredor Centro-Sudeste da VLI e a Estrada de Ferro Santos-Jundiá MRS. O modal ferroviário representa 30% do transporte de cargas movimentadas no porto de Santos (SPA).

Após o transporte das cargas do agronegócio, os materiais passam por processos específicos. No caso dos grãos, segundo o Terminal Exportador de Santos (TES), que exportou cerca de 4,5 milhões de toneladas em 2022, os

processos são: logística, recebimento, controle de qualidade, armazenagem, embarque e navio.

No processo de recebimento, incluem-se conferência, pesagem em balanças especiais e coleta de amostras. Na etapa de controle de qualidade, as amostras são testadas e, se atenderem aos padrões exigidos, seguem para a armazenagem.

Na armazenagem, a carga é movimentada internamente com equipamentos como correias transportadoras, pás carregadeiras, entre outros, e é documentada de acordo com padrões exigidos por órgãos como a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). Somente após essa documentação, as cargas são armazenadas em silos, até a atracação dos navios.

Após o navio atracar, o embarque é realizado. O plano de estiva considera o tipo de carga e navio, quantidade e condições de transporte. O carregamento é feito por guindastes próprios para esse tipo de operação, seguido por uma vistoria final e despacho aduaneiro, que encerra o processo.

A Figura 1 a seguir gerada no Arena apresenta um fluxograma considerando os processos descritos acima:

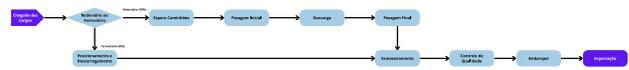


Fig. 1. Autoria própria – Fluxograma de Processos para exportação de Grãos.

Com os processos que constituem uma logística de exportação de grãos descritos, pode-se então elaborar modelos de fluxo, como os descritos anteriormente, para simular situações reais ou hipotéticas, por meio do software Arena.

Para garantir uma distinção clara entre o que foi encontrado na literatura e as contribuições específicas deste estudo, a revisão da literatura apresenta os conceitos e práticas recomendadas para a otimização de operações portuárias com o uso de simulação, como apontado por autores como [1] e [5]. A partir desses fundamentos, o presente trabalho desenvolve uma simulação específica para os terminais do Porto de Santos, modelando os processos com base nos dados obtidos sobre o fluxo de grãos sólidos e propondo possíveis melhorias focadas na redução de gargalos e na eficiência dos recursos portuários.

Para a criação deste modelo, adotou-se informações provenientes de órgãos e páginas especializadas na coleta, tratamento e divulgação de dados relacionados aos modais de transporte, processos aduaneiros e exportação no Porto de Santos. Dentre estes estão Relatórios Técnicos de Operações

Portuárias de Granel Sólido no Porto de Santos, a Agência Nacional de Transporte Aquaviário, a CNT (Confederação Nacional do Transporte, a aba de Estatísticas da própria Santos *Port Authority* e o site do Governo Federal, na aba destinada para Portos e Aeroportos.

Analisando os dados obtidos destas fontes, é possível adotar alguns valores factíveis para as simulações em cada etapa do processo.

Segundo dados obtidos do portal Portos e Aeroportos, do Governo Federal, uma carga transportada pelo modal ferroviário, tem em média, de 10 a 20 vagões, enquanto uma carga transportada pelo modal rodoviário ocupa cerca de 5 a 10 caminhões. Deve-se levar em consideração também que, de acordo dados da SPA, chegam cerca de 8000 veículos por dia ao porto, enquanto pelo meio ferroviário, são 2000 vagões, ou seja, 80% da carga recebida pelo Porto de Santos chega por meio rodoviário.

Portanto, se for traçado um paralelo entre a quantidade de veículos e vagões que chegam por dia e a quantidade necessária de cada um deles para se ter uma carga completa, pode-se concluir que chegam, em média, de 20 a 25 cargas completas por dia em um Terminal Rodoviário de Santos.

Além dos dados relacionados à chegada das cargas, é necessário analisar a movimentação delas dentro dos terminais e, com a diferença de modais, há também diferenças nos processos que serão realizados dentro dos terminais. Para o modal rodoviário, após o processo logístico de transporte da carga, ela passará por 8 novas etapas que seguem o padrão apresentado na Figura 1.

O primeiro processo é o de Chegada e Espera do Caminhão no Pátio. Nele, os caminhões aguardam até serem chamados para o ambiente de descarga. O tempo mínimo e máximo deste processo são de uma e quatro horas, respectivamente.

O segundo processo é o de Pesagem Inicial, nele o caminhão é pesado antes mesmo de ser feita a descarga de qualquer material. O tempo mínimo e máximo deste processo são de dez e trinta minutos, respectivamente.

Descarga na Moega rodoviária vem logo em seguida, é o processo no qual as cargas são descarregadas do caminhão e passam para as chamadas correias transportadoras, por onde são levadas até os silos, o tempo pode variar para cada tipo de moega e grão. O tempo mínimo e máximo deste processo são de trinta minutos a uma hora, respectivamente.

A Figura 2 a seguir, representa um modelo de Moega, desenvolvido pela empresa Stahl Engenharia, que é utilizado em terminais portuários de todo o Brasil. Geralmente sua estrutura é cônica ou em forma de funil, além de ser normalmente construída em aço.



Fig. 2. Stahl Engenharia – Fabricação e Montagem de Moega Yara.

Após a Descarga, o caminhão é pesado novamente para comprovar que a carga foi completamente entregue ao terminal portuário. Esta etapa, embora aparente não comprometer o fluxo do processo, deve ser considerada, pois, ao ser realizada, ocupa espaço na balança, o que faz com que menos caminhões sejam pesados na etapa Pesagem Inicial. O seu tempo mínimo é de dez minutos e máximo 20 minutos.

A partir do momento que a carga está devidamente armazenada, são realizadas análises para certificarem que a soja atende os requisitos e parâmetros de qualidade exigidos para exportação. Essa etapa, denominada Controle de Qualidade, leva entre uma e quatro horas para ser realizada, sendo estes seus tempos mínimos e máximos, respectivamente.

Programação e Movimentação para Embarque é a etapa seguinte, nela os grãos são mantidos armazenados de forma segura até que o navio esteja pronto para ser carregado. Essa etapa depende da fila de navios, da disponibilidade de guindastes e carregadores. Seu tempo mínimo é de doze horas e máximo de quarenta e oito horas.

Por fim, chega-se à etapa de carregamento do navio, que varia de doze a vinte e quatro horas, sendo estes os tempos mínimos e máximos, respectivamente. Este carregamento é feito continuamente, com navios maiores demandando mais tempo, além de depender da capacidade do terminal e da eficiência dos *shiploaders*, segundo [7] são equipamentos desenvolvidos para carregar os materiais. Existem diversos modelos, para diferentes aplicações, mas o mais comum para a movimentação de granéis é o em esteira, que leva o material desde os silos ou moegas até o portão do navio.

Com estes parâmetros definidos, é possível desenvolver o modelo de simulação computacional e, baseado nele, podemos simular e analisar cenários complexos oferecendo aos gestores ferramentas poderosas para a tomada de decisões mais informadas e eficazes. Com isso, tem-se um importante instrumento de gestão, contribuindo para um setor mais competitivo e eficiente.

A Figura 3 a seguir é o modelo de simulação computacional, em formato de fluxograma, gerado dentro do próprio Software Arena, com ele e os dados obtidos através das pesquisas realizadas, com ele podemos simular processos como carga, descarga e movimentação interna de mercadorias e, ao final da simulação computacional, o Arena fornece

insights valiosos sobre como otimizar a alocação de recursos, ajustar horários de operação e melhorar o fluxo de cargas.

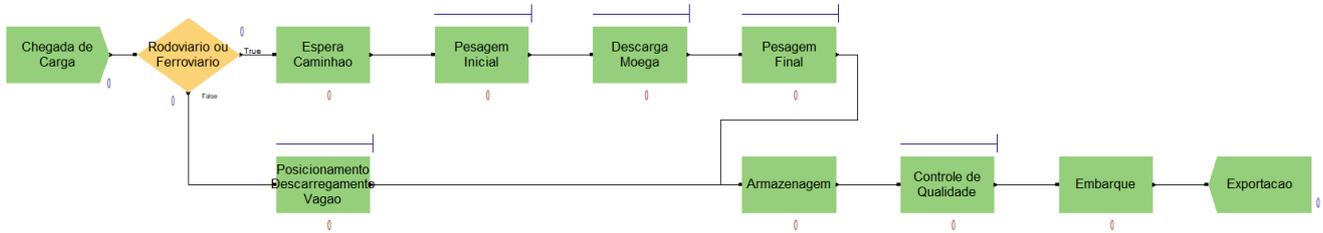


Fig. 3. Software Arena – Modelo de Processos no Terminal Portuário feito dentro do Software

### III. CONCLUSÃO

Em conclusão, a tese de que o uso do software Arena pode melhorar significativamente a eficiência operacional dos terminais portuários de Santos é sustentada por uma sólida base teórica e prática. A capacidade de modelar, simular e analisar cenários complexos oferece aos gestores ferramentas poderosas para a tomada de decisões mais informadas e eficazes. Este trabalho não apenas reafirma a importância da simulação como instrumento de gestão, mas também destaca o potencial do Arena como catalisador para a otimização das operações portuárias no Brasil, contribuindo para um setor mais competitivo e eficiente.

Portanto, aplicação do Arena no contexto dos terminais portuários de Santos permite que os gestores tenham uma visão clara das possíveis melhorias operacionais e dos benefícios potenciais dessas mudanças. Além disso, a simulação possibilita uma abordagem proativa para a gestão portuária, onde problemas podem ser previstos e solucionados antes que se tornem críticos. Esta pesquisa, portanto, não apenas contribui para o corpo de conhecimento existente sobre o uso de simulações em operações portuárias, mas também oferece insights práticos para a implementação de melhorias que podem ter um impacto significativo na eficiência e competitividade do Porto de Santos.

### REFERÊNCIAS

[1] Henrique Paranhos C. Gusmão, “Aplicação da teoria de filas a um terminal portuário de Santos via software Arena”. 2022, Teófilo Otoni, pp. 1–38.

[2] Jade Cavalcanti Macedo, “Simulação do atendimento de caminhões no clico operacional do porto Itapoá”. 2019, Joinville, pp. 1–69.

[3] Jadir Antonio Frigeri, Márcia Bianchi e Rosemary Gelatti Backes, “Um estudo sobre o uso das técnicas

de simulação no processo de elaboração e execução dos planejamentos estratégicos e operacionais”, 2007. Porto Alegre, pp. 01–24.

[4] Bruna de Paula Gonçalves e Rodinei da Cunha Gonçalves, “Relatório técnico de simulação de operações portuárias de granel sólido no porto de Santos”. Santos, 2017, pp. 01–17.

[5] Juliana Provenzano Jou Alves, “Modelagem e simulação dos terminais de granéis agrícolas no porto de Santos”. Rio de Janeiro, 2012, pp. 1–108.

[6] Alexandre Font Juliá, “Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto na cadeia de minério de ferro”. São Paulo, 2010, pp. 01–168.

[7] Bárbara Ingrid et. Al, “Shiploder Tecnologia no Embarque de Grãos”. Bragança Paulista, 2020, pp. 01–10.

[8] Secretaria de Desenvolvimento Urbano (SEDURB), “Diagnóstico de revisão do plano diretor de desenvolvimento e expansão urbana do município de Santos”. Santos, 2021, pp. 01–44.

[9] Agência Infra. “Sem espaço no porto de Santos, contêineres migram para outros estados”. Disponível em: <https://agenciainfra.com/blog/sem-espaco-no-porto-de-santos-containeres-migram-para-outros-estados/2024>.

[10] Santos Port Authority. “Conheça o Porto de Santos”. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br>.

[11] Paragon. “Arena Software”. Disponível em: <https://paragon.com.br/arena/>.