

Etec “DONA ESCOLÁSTICA ROSA”
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO TÉCNICA PROFISSIONAL EM LOGÍSTICA
(PROGRAMA DE ARTICULAÇÃO DA FORMAÇÃO PROFISSIONAL MÉDIA E
SUPERIOR – AMS)

A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE
AGENDAMENTO DE CAMINHÕES

Alexandre Mendes Gabriel*

Ana Beatriz Rodrigues Araújo**

Breno Penha Dos Santos Gonçalves***

Cauã Rodrigues Martho Viriato****

Mikaelly Yumy Belforth Higa*****

Resumo: O Porto de Santos, maior complexo portuário da América Latina, enfrenta diariamente o desafio de organizar o intenso fluxo de caminhões que chegam aos seus terminais. Para isso, foram criadas normas como a de Agendamento de Caminhões (NAP) e a Resolução nº 136/2013, que estabeleceram o uso de pátios reguladores e horários específicos para determinados tipos de carga. Apesar desses avanços, persistem gargalos como caminhões que chegam sem agendamento, longas filas de espera, bloqueio de trilhos ferroviários e a falta de integração entre diferentes modais, fatores que comprometem a eficiência das operações. O problema de pesquisa, portanto, é compreender como a Inteligência Artificial (IA) pode contribuir para automatizar e otimizar o agendamento de caminhões, minimizando falhas e reduzindo custos. O objetivo central é analisar os benefícios, limitações e desafios dessa aplicação, considerando sua relevância para a fluidez logística e para a sustentabilidade portuária.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Porto de Santos. Agendamento de caminhões. Logística.

* Alexandre Mendes Gabriel, Etec Dona Escolástica Rosa - alexandre.gabriel@etec.sp.gov.br

** Ana Beatriz Rodrigues Araújo, na Etec Dona Escolástica Rosa - ana.araujo368@etec.sp.gov.br

*** Breno Penha Dos Santos Gonçalves, na Etec Dona Escolástica Rosa - breno.goncalves01@etec.sp.gov.br

**** Cauã Rodrigues Martho Viriato, na Etec Dona Escolástica Rosa - caua.viriato@etec.sp.gov.br

***** Mikaelly Yumy Belforth Higa, na Etec Dona Escolástica Rosa - mikaelly.higa@etec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) vem ganhando espaço como ferramenta de transformação em diversos setores e, na logística, apresenta um potencial particularmente relevante. A logística, responsável por organizar o fluxo de mercadorias e informações, depende de processos eficientes para garantir que produtos cheguem ao ponto de destino, no tempo adequado e com o menor custo. Nesse contexto, o agendamento de caminhões é um conceito estratégico, pois impacta diretamente a fluidez das operações e a utilização da infraestrutura. No entanto, em muitos casos esse processo ainda é realizado de forma manual ou com sistemas pouco integrados, o que resulta em filas, atrasos e despesas adicionais. Diante disso, a IA surge como uma alternativa capaz de otimizar esse processo, utilizando dados em grande escala para prever demandas, apoiar decisões em no prazo adequado real e automatizar etapas críticas.

Este artigo tem como objetivo estudar a aplicação da IA no processo de agendamento de caminhões no Porto de Santos, com base na norma NAP.SUPOP.OPR.016/2024, que regulamenta tal procedimento. O Porto de Santos é o maior complexo portuário da América Latina e desempenha papel essencial para o comércio internacional e a economia brasileira. Apenas em maio de 2024 foram registradas 15,8 milhões de toneladas de cargas movimentadas, enquanto no primeiro trimestre de 2025 foram alcançados 1,3 milhão de TEUs (*Twenty-Foot Equivalent Unit*). Esses números evidenciam a relevância do porto e a necessidade de soluções que aumentem a eficiência de suas operações. A norma de agendamento apresenta pontos com grande potencial para automação, como a previsão de chegada e a gestão da demanda e sazonalidade de caminhões, abrindo espaço para a aplicação de sistemas inteligentes que possam reduzir descumprimentos de tolerância e suavizar picos de movimentação.

A metodologia utilizada inclui revisão bibliográfica, análise documental da norma vigente e estudo de experiências internacionais, como o *Time Slot Management System* (TSMS) em Rotterdam, além do emprego de modelos como Programação Linear Inteira Mista (MILP) e sistemas multiagentes. Espera-se como resultado a proposição de soluções capazes de prever fluxos de veículos, integrar dados em tempo real, reduzir filas e adaptar dinamicamente os horários de chegada. Entre os objetivos específicos considera-se compreender o funcionamento atual do

agendamento e seus problemas, analisar os desafios envolvidos, explorar como a IA pode apoiar previsões e planejamentos, mapear requisitos de implementação e refletir sobre limitações práticas. Busca-se alcançaras seguintes expectativas como, a implementação da IA enfrenta barreiras técnicas e econômicas, como infraestrutura defasada, falta de integração e altos custos; sua adoção pode gerar impactos sociais, como redução de funções manuais, necessidade de requalificação e novas funções ligadas à gestão de dados; e a IA pode se consolidar como estratégica para os portos, ao permitir previsões de demanda, otimização de janelas e rotas, redução de filas, maior eficiência e sustentabilidade.

2 CONCEITOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (IA) é uma área da ciência da computação que busca desenvolver sistemas e máquinas capazes de realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana, como reconhecimento de padrões, tomada de decisões e aprendizado a partir de dados. Segundo Russell e Norvig (2020), a IA pode ser entendida como o estudo de agentes inteligentes — sistemas que percebem seu ambiente, tomam decisões e agem de forma autônoma para alcançar objetivos.

Russell e Norvig (2021) afirmam que a IA é o estudo de agentes que percebem seu ambiente e tomam ações para maximizar suas chances de sucesso em objetivos específicos. Os autores explicam que a inteligência pode ser simulada por diferentes abordagens, como a imitação do raciocínio humano, o comportamento adaptativo e a tomada de decisões racionais. Eles ressaltam que “Inteligência Artificial é o estudo de como fazer os computadores realizarem tarefas que, no momento, os seres humanos fazem melhor”.

No contexto brasileiro, a Associação Brasileira de Inteligência Artificial (ABRIA) define IA como um campo interdisciplinar que envolve técnicas de aprendizado de máquina, processamento de linguagem natural, visão computacional e robótica, com foco em sistemas autônomos que aprendem e se adaptam sem intervenção humana constante. Essa visão destaca o papel da IA como um agente de inovação tecnológica que promove ganhos de eficiência e inteligência operacional.

O avanço da IA tem sido impulsionado pelo aprendizado de máquina (machine learning), que permite aos sistemas computacionais identificarem padrões em grandes volumes de dados e melhorar seu desempenho com o tempo. Conforme Goodfellow, Bengio e Courville (2018), “O aprendizado de máquina fornece aos

computadores a capacidade de aprender a partir de dados, sem que tenham sido explicitamente programados para tal”.

Além do aspecto técnico, a IA levanta questões sociais e éticas que devem ser consideradas em seu desenvolvimento e aplicação. Floridi (2020), referência internacional em ética da tecnologia, defende que a IA precisa ser desenvolvida com responsabilidade, transparência e respeito aos direitos humanos, para garantir que seus benefícios sejam acessíveis e não reforcem desigualdades. “A ética da IA precisa ser incorporada desde o início do seu design, para garantir que os sistemas inteligentes sirvam ao bem comum”.

3 O ATUAL PROCESSO DE AGENDAMENTO DE CAMINHÕES

No Porto de Santos, o planejamento da entrada de caminhões é fundamental para a gestão da logística terrestre do maior complexo portuário da América Latina. A Norma de Agendamento de Caminhões (NAP), criada pela Autoridade Portuária de Santos (APS), rege este processo. Segundo a APS, a norma visa sobretudo “organizar o tráfego de veículos de carga, aumentando a previsibilidade e a eficiência dos acessos terrestres” (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2023). A NAP estabelece que todos os caminhões que pretendem entrar no porto devem estar previamente agendados através de sistemas digitais integrados. Este agendamento serve como uma reserva de horário, onde a transportadora ou o motorista introduz dados sobre o veículo, o tipo de carga, o terminal de destino e a hora pretendida. Apenas os veículos agendados podem entrar nas instalações portuárias, evitando filas e reduzindo o impacto do excesso de caminhões nas vias de acesso ao cais (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2024).

O processo conta com o apoio de tecnologias adicionais. Entre elas, destacam-se os sistemas de OCR (*Optical Character Recognition*) nos portões de acesso, que leem automaticamente matrículas e documentos, verificando a sua concordância com o agendamento. Além disso, os pátios reguladores são muito necessários como áreas de espera e organização dos veículos, funcionando como um filtro para que apenas os caminhões autorizados sigam para o terminal (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2023).

A norma também define regras estritas de tolerância. Os caminhões que chegam fora da hora marcada podem não ter permissão para entrar. Além disso, as transportadoras que agendam e não comparecem, os chamados “*no-show*” podem

ser punidas, pois a sua ausência prejudica a eficiência do sistema e a disponibilidade de horários para outros operadores (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2023). Apesar de ser inovador, o modelo atual enfrenta grandes desafios. A APS reconhece que “é preciso mais integração tecnológica e interoperabilidade entre sistemas, para eliminar problemas e melhorar a comunicação em tempo real” (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2024). Isto porque a operação envolve vários componentes terminais, transportadoras, motoristas, autoridades portuárias e órgãos de fiscalização cada um com os seus próprios sistemas, nem sempre compatíveis.

Outro ponto crítico é a variação da procura. Em alturas de pico, como a colheita de cereais, há muitos caminhões a chegar em horários específicos, o que pode sobrecarregar os acessos terrestres. Já em alturas de menor movimento, muitos horários ficam livres, mostrando a falta de flexibilidade do modelo atual. As dificuldades apresentadas mostram o quão crucial é buscar alternativas mais espertas, que unam informações de locais diversos, antecipem mudanças nas solicitações e adaptem de forma ágil a oferta de horários. Pensando nisso, o uso da Inteligência Artificial surge como um jeito interessante de modificar o formato de agendamento atual, convertendo-o em um esquema mais ágil e produtivo.

4 PROCESSO DE AGENDAMENTO DE CAMINHÕES: DESAFIOS E COMPLEXIDADE

Agendar caminhões com antecedência, para entrada nos terminais portuários, notadamente no Porto de Santos, é chave para organizar o trânsito rodoviário e diminuir engarrafamentos. A partir da Resolução nº 136/2013 da CODESP, definindo horários de seis horas para as cargas a granel, e com pátios reguladores sendo obrigatórios, o sistema evolui continuamente. Apesar das regras em vigor, a história do porto mostra obstáculos persistentes. Uma pesquisa em fevereiro de 2014 revelou que cerca de 16% dos caminhões chegaram sem agendamento, evidenciando fragilidades na lei. Motoristas relataram esperas de até dezoito horas, com pouca fiscalização nas estradas, o que facilita a entrada de caminhões sem agendamento. Além disso, as entradas rodoviárias no Porto de Santos seguem congestionadas ao longo do dia. Em 2011, a quantidade diária de caminhões ultrapassou 18.500, transformando as ruas em estacionamentos gigantes. A falta de um plano multimodal,

aliada ao uso eventualmente ineficiente, intensifica esses gargalos. Em diversos cenários, a lentidão nas operações chega a trinta e seis horas, travando o trânsito rodoviário e ferroviário, já que os caminhões obstruem os trilhos.

Para mitigar esses problemas, a Autoridade Portuária de Santos (APS) vem realizando alterações sucessivas nas janelas de tolerância após o horário marcado. A tolerância caiu de cinco para quatro horas em outubro de 2022, para três horas no início de 2023 e, a partir de maio de 2023, foi reduzida para duas horas. Essa decisão busca reduzir a permanência de caminhões no entorno do porto e oferecer maior eficiência aos operadores.

Em março de 2024, foi publicada a norma NAP.SUPOP.OPR.016/2024, que reforça a obrigatoriedade do uso dos pátios reguladores, conforme o artigo 12. Apenas terminais de graneis vegetais podem solicitar dispensa dessa regra, desde que apresentem sistemas tecnológicos de monitoramento eficientes, aprovados pela APS. Até o momento, nenhum terminal apresentou alternativa, mantendo os pátios como rotina. Estudos, como a dissertação de Monteiro (2015), demonstram que, apesar da disponibilidade de espaço nos pátios reguladores, principalmente em períodos de safra até 2020, a eficiência no embarque depende da programação logística. Uma boa gestão pode reduzir custos de frete e tempo de espera.

Em síntese, o agendamento de caminhões no Porto de Santos é essencial para organizar a logística, mas enfrenta barreiras significativas. Leis insuficientes, fiscalização falha, congestionamento logístico e uso de tecnologias comprometidas prejudicam a operação. O futuro deve buscar maior integração logística, uso de tecnologias preditivas e fiscalização eficaz para alcançar maior eficiência operacional.

5 SISTEMAS INTELIGENTES PARA PREVISÃO E PLANEJAMENTO NO PROCESSO DE AGENDAMENTO DE CAMINHÕES

A crescente complexidade observada nas atividades portuárias, sobretudo no Porto de Santos, requer alternativas inovadoras para aprimorar o planejamento do tráfego de caminhões. Os sistemas inteligentes têm se revelado ferramentas eficazes para lidar com problemas como os congestionamentos, o uso ineficiente dos recursos e o aumento nos tempos de espera. Vários estudos acadêmicos recentes apresentam informações valiosas sobre essas tecnologias. Um exemplo são os modelos de Programação Linear Inteira Mista (MILP), que otimizam o tráfego de caminhões em

terminais portuários, levando em consideração aspectos como pátios externos, múltiplos portões, vias internas e áreas de atracação, com o objetivo de reduzir o tempo máximo de conclusão das operações. A utilização de heurísticas de horizonte rolante permite que esses modelos se ajustem a diferentes configurações de terminais, tornando-os aplicáveis em situações reais de operações portuárias.

Outra notável estratégia é o sistema TSMS (*Time Slot Management System*), adotado no Porto de Rotterdam, que utiliza a modelagem discreta de escolha para avaliar as preferências dos operadores de transporte e sugerir horários de chegada em horários mais tranquilos. Estudos indicam que essa estratégia reduz consideravelmente o tempo de espera no portão, ajustando a demanda logística à capacidade operacional do terminal.

Sistemas multiagente baseados em dados históricos têm sido implementados, oferecendo suporte à decisão no controle do fluxo de caminhões, prevendo situações de tráfego e aplicando políticas de controle que beneficiam transportadoras, operadores portuários e órgãos de trânsito, resultando na diminuição do tempo de espera e dos custos logísticos.

Além disso, o emprego de aprendizado de máquina e métodos metaheurísticos tem se mostrado promissor, permitindo que os sistemas de agendamento se adaptem a alterações em tempo real e enfrentem incertezas das operações portuárias, aprimorando a eficiência operacional e a capacidade de resposta a situações inesperadas. A união de modelos de otimização com técnicas de simulação também tem sido investigada, visando minimizar o tempo total de espera, reduzir emissões de caminhões, custos de transporte e gasto de energia, além de potencializar a utilização dos recursos disponíveis.

Por fim, a integração de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial (IA) e técnicas de análise de dados em larga escala, auxiliam no controle eficiente do tráfego e na otimização das operações logísticas portuárias. Essas abordagens demonstram que o uso de sistemas inteligentes no agendamento de caminhões no contexto portuário, proporcionam maior previsibilidade, eficiência e sustentabilidade nas operações logísticas.

6 RECURSOS E ESTRUTURA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA I.A

Para que a Inteligência Artificial otimize o fluxo de caminhões no Porto de Santos, é vital ir além da simples inserção de algoritmos, cumprindo exigências técnicas, organizacionais, humanas e normativas. Um pilar crucial é a infraestrutura digital. A aplicação da IA exige coletar e processar grandes dados instantaneamente, necessitando de redes de comunicação robustas. AAPS frisa que a rede 5G particular no Porto de Santos impulsionará “a conexão e o intercâmbio de dados em tempo real entre terminais, caminhões e sistemas de gestão” (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2025). Tal rede viabilizará que caminhões transmitam continuamente dados sobre localização, tempo de chegada, tráfego e telemetria de manutenção, permitindo decisões dinâmicas por gestores portuários.

Outra demanda é a união de dados. Hoje, informações logísticas estão espalhadas por plataformas e sistemas de vários operadores, dificultando uma visão geral do tráfego de caminhões. AAPS enfatiza que “a interoperabilidade é fundamental para a sincronia entre os agentes logísticos” (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2024). Para a IA ser eficaz, é preciso integrar esses dados em plataformas unificadas, com protocolos de comunicação padrão e gestão compartilhada. A qualificação da equipe é vital. Não basta oferecer ferramentas de IA, é preciso capacitar profissionais para operá-las e, principalmente, interpretar os resultados. Interpretações erradas podem levar a decisões falhas, invalidando os benefícios. Entre os requisitos técnicos, notam-se sensores IoT (Internet das Coisas) em veículos e acessos, monitoramento em tempo real do tráfego urbano e portuário, e modelos de machine learning para prever a demanda. A APS destaca a importância do gêmeo digital do Porto de Santos, que “simulará cenários logísticos complexos e avaliará impactos de decisões em tempo real” (AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS, 2025b), antecipando problemas e testando soluções virtuais antes da aplicação real.

Finalmente, existem as questões legais e de organização. Para usar a IA, é preciso ter regras bem definidas para cuidar dos dados, incluindo a proteção contra ataques virtuais, o respeito à privacidade e a forma como as informações são usadas abertamente. Também é muito importante que todos os participantes estejam de acordo com empresas de transporte, motoristas, terminais, órgãos que regulam e a administração do porto. Se não houver essa concordância entre as instituições, a IA pode acabar sendo usada apenas em projetos isolados, sem trazer grandes mudanças para o sistema como um todo. Assim, o que foi dito até agora mostra que colocar a Inteligência Artificial para agendar caminhões não é só uma questão de

tecnologia, mas também exige mudanças na forma como as empresas se organizam, nas leis e na cultura. Cumprir essas exigências é essencial para que o Porto de Santos consiga ser mais eficiente e prever melhor o que acontece em suas operações em terra.

7 O PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO DE IA NO PROCESSO AGENDAMENTO DE CAMINHÕES

A adoção de sistemas de Inteligência Artificial (IA) para o agendamento de caminhões requer mais do que apenas um novo software. Trata-se de uma transformação profunda que demanda preparação estrutural, técnica e humana. Para que a IA funcione de forma eficiente nesse contexto, é necessário o alinhamento de quatro pilares principais: infraestrutura tecnológica, integração de dados, capacitação de pessoal e requisitos técnicos de governança.

O primeiro passo fundamental é a construção de uma infraestrutura tecnológica adequada, capaz de sustentar sistemas inteligentes em tempo real. No Porto de Santos, por exemplo, a Autoridade Portuária vem investindo na implantação de uma rede privativa 5G. De acordo com a APS (2025), essa tecnologia “proporcionará maior largura de banda, menor latência e maior densidade de conexões, permitindo a transmissão de grandes volumes de dados em tempo real”, o que é essencial para viabilizar sistemas de IoT e IA aplicados ao agendamento de caminhões. Outro avanço importante é a adoção do gêmeo digital — uma réplica virtual do porto que permite simular operações logísticas em tempo real. Segundo a APS (2025), o gêmeo digital “possibilita testar cenários complexos, prever gargalos e antecipar decisões sem impactar diretamente a operação física”. Essa ferramenta serve como base para simular e validar a aplicação de IA no agendamento de caminhões de forma segura e escalável.

Além da infraestrutura, a integração de dados é outro requisito essencial. A IA depende da coleta de grandes volumes de informações para gerar previsões confiáveis. Isso inclui dados sobre o tempo médio de atendimento nos terminais, fluxo de caminhões, trânsito rodoviário, condições climáticas e histórico de agendamentos. Quanto mais conectadas estiverem essas bases, melhor será a capacidade da IA de antecipar atrasos, redistribuir janelas de agendamento e otimizar a ocupação dos pátios. De acordo com Silva e Costa (2024), “a Inteligência Artificial, para atingir todo

o seu potencial, depende diretamente da qualidade e integração dos dados disponíveis”. Outro ponto indispensável no processo de implementação é a capacitação de pessoal. A adoção da IA exige que operadores, gestores e transportadoras sejam treinados para interpretar relatórios, ajustar parâmetros e tomar decisões baseadas em dados. Abreu (2023) ressalta que “a transformação digital bem-sucedida depende não apenas da tecnologia, mas da formação contínua das equipes envolvidas no processo logístico”. Portanto, a aceitação da tecnologia e o uso eficiente das ferramentas dependem de uma mudança cultural e do desenvolvimento de novas competências profissionais.

A implementação da IA deve ser feita de forma escalonada, permitindo testes e ajustes antes da automação completa do processo. De acordo com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, 2023), “a transição para um smart port requer planejamento estratégico em etapas, começando com pilotos, passando por validação e só então por escalonamento”. Esse tipo de abordagem reduz riscos e garante que a tecnologia esteja alinhada à realidade operacional do porto. Dessa forma, percebe-se que a implementação da IA no agendamento de caminhões depende de um conjunto de fatores interligados. Infraestrutura tecnológica moderna, integração eficiente dos dados, capacitação dos profissionais e governança digital clara são elementos indispensáveis para o sucesso dessa transformação.

8 DESAFIOS E LIMITAÇÕES NA IMPLEMENTAÇÃO DA IA

A implementação de novas tecnologias é um processo complexo para as empresas, para tais implementações sempre é necessário planejamentos e análises das possíveis dificuldades e/ou limitações dentro das empresas, esses desafios podem ser diversos, alto custo, capacitação de funcionários, privacidade dos dados, integração dos sistemas e resistência cultural, podem dificultar a adição de inovações dentro das empresas.

Como lembram Boute e Udenio (2022), a adoção de tecnologias de inteligência artificial na logística exige altos investimentos em infraestrutura, softwares e capacitação de equipes. Esses gastos podem representar um grande desafio para diversos portos, principalmente os que dispõem de recursos financeiros limitados. A escassez de orçamento pode resultar em atrasos ou até mesmo impedir a implementação de soluções inovadoras capazes de aumentar a eficiência das

operações. Torna-se evidente a necessidade de um planejamento de custos detalhado antes de qualquer ação de implementação das tecnologias de IA.

Farzadmehr (2023), destaca que a utilização eficiente da inteligência artificial depende da coleta e do tratamento de grandes quantidades de dados, o que traz à tona questões relacionadas à privacidade e à segurança das informações. É fundamental que os portos assegurem a proteção dos dados sensíveis e cumpram as normas de proteção vigentes. A ausência de medidas adequadas pode levar a vazamentos de informações e prejudicar a confiança dos envolvidos no processo, expondo a possível vulnerabilidade de sistemas de má qualidade. Testar e validar os sistemas antes da implementação completa é essencial para garantir segurança e confiabilidade.

Para Hussein e Song (2022), a combinação de sistemas antigos com tecnologias modernas de IA tende a ser um processo complexo e desafiador. Diversos portos ainda utilizam estruturas ultrapassadas que não são compatíveis com as soluções atuais, dificultando a migração para operações mais eficientes. Essa falta de interoperabilidade pode reduzir significativamente os benefícios que a IA é capaz de oferecer à logística portuária. Por isso, as integrações devem ocorrer de forma gradual, garantindo que a transição não prejudique as operações.

9 CONSIDERAÇÕES

A análise realizada confirma que o agendamento de caminhões no Porto de Santos, ainda que disciplinado pela NAP.SUPOP.OPR.016/2024 e apoiado por pátios reguladores, OCR e janelas de tolerância, permanece limitado por barreiras operacionais e institucionais: integração insuficiente entre sistemas, forte sazonalidade da demanda, fiscalização irregular e formação de filas com efeitos econômicos relevantes. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) surge não apenas como um recurso tecnológico, mas como um componente estratégico para conferir previsibilidade e adaptabilidade ao processo, por meio de previsão de demanda, recomposição dinâmica de janelas, mitigação de no-shows e balanceamento do uso de pátios e portões.

Do ponto de vista técnico-organizacional, a viabilidade da IA depende de quatro eixos complementares. i) Infraestrutura digital: rede de baixa latência, sensoramento IoT em acessos e veículos e gêmeo digital para testar cenários antes

da aplicação operacional. ii) Dados e interoperabilidade: integração entre APS, terminais, transportadoras e órgãos públicos com padrões e APIs comuns, garantindo visão unificada do fluxo. iii) Modelagem inteligente: uso combinado de MILP e heurísticas em horizonte rolante, aprendizado de máquina e referências de sistemas como o TSMS, favorecendo a realocação de time slots para períodos menos congestionados e a reotimização em tempo real. iv) Pessoas e governança: capacitação continuada para leitura e ajuste das recomendações e políticas claras de privacidade e segurança da informação.

Os desafios identificados — investimento inicial elevado, sistemas legados pouco compatíveis, proteção de dados e maturidade da fiscalização — recomendam uma implantação escalonada, com pilotos, validação por indicadores e posterior ampliação. A aferição de resultados deve apoiar-se em métricas objetivas e comparáveis, como tempo de espera nos portões, taxa de *no-show*, ocupação e aderência aos *time slots*, *truck turnaround time* e emissões associadas às filas. Melhorias consistentes nesses indicadores caracterizam a transição da prova de conceito para a capacidade operacional, consolidando a IA como ferramenta de gestão do fluxo terrestre.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AUTOMATION OF THE TRUCK SCHEDULING PROCESS

Abstract: The Port of Santos, the largest port complex in Latin America, faces the daily challenge of organizing the intense flow of trucks arriving at its terminals. To address this, regulations such as the Truck Scheduling Standard (NAP) and Resolution No. 136/2013 were created, establishing the use of regulating yards and specific time windows for certain types of cargo. Despite these advances, bottlenecks persist, such as trucks arriving without prior booking, long waiting lines, blockage of railway tracks, and the lack of integration between different transport modes, all of which undermine operational efficiency. The research problem, therefore, is to understand how Artificial Intelligence (AI) can help automate and optimize truck scheduling, minimizing failures and reducing costs. The central objective is to analyze the benefits, limitations, and challenges of this application, considering its relevance for logistics flow and port sustainability.

Keywords: Artificial Intelligence. Port of Santos. Truck scheduling. Logistics.

REFERÊNCIAS

AGENDA PORTO. **Informação sobre a Norma de Agendamento de Caminhões no Porto de Santos.** Agência Porto, 12 abr. 2024. Disponível em: <https://agenciaporto.com.br/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

AUTOR DESCONHECIDO. Scheduling truck arrivals for efficient container flow management in port logistics. *Central European Journal of Operations Research*, v. 33, p. 791–818, 21 mar. 2025. Acesso em: 25 ago. 2025.

BOUTE, Robert N.; UDENIO, Maxi. **AI in logistics and supply chain management.** In: *Global logistics and supply chain strategies for the 2020s: Vital skills for the next generation*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 49-65. Acesso em: 16 jun. 2025.

COSTA NORTE. **Porto de Santos atualiza agendamento de caminhões a partir de maio.** *Costanorte*, 28 abr. 2023. Disponível em: <https://costanorte.com.br/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

DIÁRIO DO LITORAL. Porto de Santos tem atualização na norma de agendamento de caminhões. *Diário do Litoral*, 17 set. 2024. Disponível em: <https://diariodolitoral.com.br/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

FARZADMEHR, Mehran; CARLAN, Valentin; VANELSLANDER, Thierry. Designing a survey framework to collect port stakeholders' insight regarding AI implementation: results from the Flemish context. *Journal of Shipping and Trade*, v. 8, n. 1, p. 23, 2023. Acesso em: 15 jun. 2025.

FLORIDI, Luciano. **The Ethics of Artificial Intelligence.** Oxford: Oxford University Press, 2020. Acesso em: 25 ago. 2025.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep Learning.** Cambridge, MA: MIT Press, 2018. Acesso em: 25 ago. 2025.

HUSSEIN, Khaled; SONG, Dong-Wook. **Maritime logistics for the next decade: Challenges, opportunities and required skills.** *Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s: Vital Skills for the Next Generation*, p. 151-174, 2022. Acesso em: 15 jun. 2025.

MONTEIRO, Emmanuel Aldano de França. **Avaliação do processo de agendamento de caminhões transportadores de granéis sólidos vegetais para acesso aos terminais portuários: o caso Porto de Santos.** 2015. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Acesso em: 25 ago. 2025.

Norma de Agendamento de Caminhões – NAP. **Santos: APS, 2023.** Disponível em: https://intranet.portodesantos.com.br/docs_codesp/doc_codesp_pdf_site.asp?id=148927. Acesso em: 23 ago. 2025.

PHAM, H. T. et al. ***Advisory-Based Time Slot Management System to Mitigate Waiting Time at Container Terminal Gates***. 2022. Acesso em: 25 ago. 2025.

PORTO DE SANTOS. Informação sobre a Norma de Agendamento de Caminhões no Porto de Santos. **Porto de Santos**, 10 abr. 2024. Disponível em: <https://portodesantos.com.br/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

PORTO DE SANTOS. **Porto de Santos avança na transformação tecnológica com implantação de gêmeo digital**. Santos, 2025b. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/2025/02/18/porto-de-santos-avanca-na-transformacao-tecnologica-com-implantacao-de-gemeo-digital/>. Acesso em: 24 ago. 2025.

PORTO DE SANTOS. **Porto de Santos dá passo estratégico rumo à inovação com rede privativa 5G**. Santos, 2025a. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/2025/02/04/porto-de-santos-da-passo-estrategico-rumo-a-inovacao-com-rede-privativa-5g/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

Porto de Santos avança na transformação tecnológica com implantação de gêmeo digital. **Santos: APS**, 18 fev. 2025. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/2025/02/18/porto-de-santos-avanca-na-transformacao-tecnologica-com-implantacao-de-gemeo-digital/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

Porto de Santos dá passo estratégico rumo à inovação com rede privativa 5G. **Santos: APS**, 4 fev. 2025. Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br/2025/02/04/porto-de-santos-da-passo-estrategico-rumo-a-inovacao-com-rede-privativa-5g/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

RAO, Aniruddha R. et al. ***A Data-driven and Multi-Agent Decision Support System for Time Slot Management at Container Terminals: A Case Study for the Port of Rotterdam***. 2023. Acesso em: 25 ago. 2025.

RESENDE, P. T. V.; SOUSA, P. R. **Mobilidade urbana nas grandes cidades brasileiras: um estudo sobre os impactos do congestionamento**. In: *SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS*, 12., 2009, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: SIMPOI, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.org/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ROGERS, Everett M. ***Diffusion of Innovations***. 4. ed. New York: The Free Press, 1995.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. ***Artificial Intelligence: A Modern Approach***. 4. ed. Hoboken: Pearson, 2020.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. ***Artificial Intelligence: A Modern Approach***. 4. ed., versão revisada. Hoboken: Pearson, 2021.

SETCESP. Regras são ignoradas e caminhões chegam ao Porto de Santos sem agendamento. **Setcesp Notícias**, 14 fev. 2014. Disponível em: <https://setcesp.org.br/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SILVA, Luis Cláudio Furtado da; COSTA, Mariana Rodrigues da. **Como a inteligência artificial pode contribuir para a eficiência da indústria marítima**. *Migalhas*, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/coluna/migalhasmaritimas/412402/como-a-ia-pode-contribuir-para-a-eficiencia-da-industria-maritima>. Acesso em: 24 ago. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC. **Roadmap para a implementação de smart ports no Brasil**. Florianópolis: UFSC, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/237803>. Acesso em: 24 ago. 2025.